

Методика короткострокового планування при організації наукоємного виробництва

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Наукоємне виробництво характеризується надзвичайною складністю виробів, для яких характерні затрудненооброблювані матеріали та використання нових прогресивних технологічних процесів. Організація цього виробництва також утрудняється у зв'язку з порівняно невеликими обсягами виробничих партій і частою зміною об'єктів випуску.

В цих умовах найбільш доцільною є потокова форма, для якої характерне розміщення виробничого обладнання відповідно до послідовності виконання технологічних процесів. При цьому кількість верстатів та іншого обладнання для кожної операції вибирають за умови забезпечення передачі деталей між робочими місцями через рівні або кратні проміжки часу. Хоча ця організаційна форма не завжди забезпечує повну зайнятість технологічного обладнання, її використання є найбільш ефективним у сучасному наукоємному виробництві.

Ключові слова: потокове виробництво, правило пріоритетів, зміщення початку робіт, оптимальна черговість.

Важливим резервом у виробничій діяльності будь якого підприємства є використання оптимальних засобів організації технологічних процесів. Особливо важливою ця процедура є при виготовленні наукоємних виробів, для яких використовуються коштовні матеріали та складне технологічне обладнання, що оснащене автоматизованими системами управління.

Якщо проблеми безпосереднього виготовлення деталей з урахуванням забезпечення заданої якості в цілому регламентується відповідними керівними технологічними матеріалами (КТМ), то в організації цих процесів залишається низка невіршених задач. Серед них відмітимо проблеми, які не пов'язані з безпосереднім формоутворенням деталей, але суттєво впливають на тривалість виробничого циклу, тобто на продуктивність.

З метою вирішення цих проблем використовується організація потокового виробництва як основної форми виготовлення невеликих партій складних деталей з частою зміною об'єкта випуску [1,2].

Встановлено, що позитивний ефект від використання потокової форми буде одержано лише у тому випадку, коли послідовність обробки виробів на потоковій лінії буде оптимальною.

Для цього у виробництві нерідко використовують правила пріоритетів для запланованих робіт [3]. Ці правила забезпечують вибір такої послідовності, яка вираховує складні маршрути руху потоку у дискретних виробничих процесах. При цьому обробка здійснюється певними партіями різної величини, а виробництва орієнтоване на незалежний попит.

Правила пріоритетів дозволяють мінімізувати середню тривалість виробничих процесів, середній час завершення обробки та міжопераційного очікування початку оброблення.

Найбільш використовуваними правилами пріоритетів є наступні [3]:

- FCFS «Перший прийшов – перший обслуговується», тобто перша робота, яка надійшла на робоче місце (потоківу лінію), виконується першою;
- EDD «Ранішній за датою виконання», тобто робота з ранішньою датою завершення відбирається першою;
- SPT «Найкоротший час виконання», при цьому найкоротша за часом виконання робота здійснюється першою;
- LPT «Найбільш тривалий час виконання». Оскільки такі роботи часто найбільш важливі, то й виконуються першими.

Розглянемо правила пріоритетів на прикладі, що наводиться нижче (таблиця 1). Роботи у порядку їхнього виконання позначені літерами А, В, С, D, Е.

Таблиця 1

Вихідні дані для визначення пріоритетів

Позначення роботи	Тривалість роботи, дні	Термін виконання роботи, дні
A	6	8
B	2	6
C	8	18
D	3	3
E	9	9

Для означених правил пріоритетів маємо:

FCFS – послідовність проста: А – В – С – D – Е. Тривалість роботи для цієї послідовності вимірюється часом очікування кожної роботи плюс час перебування у робочому процесі. Наприклад, робота **В** чекає шість днів, доки виконується робота **А**, потім вона потребує ще два дні для виконання безпосередньо роботи **В**. Таким чином вона буде виконана протягом восьми днів, що на два дні довше, чим потрібно (табл. 1).

В таблиці 2, як приклад, наведені дані щодо тривалості робіт у потоковому виробництві.

Таблиця 2

Показники потокового виробництва

Послідовність робіт	Час процесу	Час потоку	Термін виконання роботи	Час запізнення роботи
A	6	6	8	0
B	2	8	6	2
C	8	16	18	0
D	3	19	15	4
E	9	28	23	5
Підсумок	28	77		11

Розглянемо правила пріоритетів стосовно даних з таблиці 2.

FCFS. Виміром ефективності цього правила будуть наступні обчислення:

- середній час завершення роботи = $\frac{\text{Сума потоків часу}}{\text{кількість робіт}} = \frac{77}{5} = 15,4$ дні;
- середня кількість робіт у системі = $\frac{\text{Сума потоків часу}}{\text{Загальний час процесу}} = \frac{77}{28} = 2,75$ робіт;
- середнє очікування роботи = $\frac{\text{Загальне запізнення}}{\text{кількість робіт}} = \frac{11}{5} = 2,2$ дні;

SPT. Після виконання дає послідовність В – D – А – С – Є (табл.3)

Послідовність визначається тривалістю з найбільшими пріоритетом, який відноситься до найкоротшої роботи.

Таблиця 3

Розрахунок найкоротшого часу виконання

Послідовність робіт	Час процесу	Час потоку	Термін виконання роботи	Час запізнення роботи
В	2	2	6	0
D	3	5	15	0
A	6	11	8	3
С	8	19	18	1
Є	9	28	23	5
Підсумок	28	65		9

За даними таблиці 3 розраховуються показники ефективності стосовно SPT:

- середній час завершення = $\frac{65}{5} = 13$ днів;
- середня кількість робіт у системі = $\frac{65}{5} = 13,2$ днів;
- середнє запізнення роботи = $\frac{9}{5} = 1,8$ днів.

EDD забезпечує наступну послідовність В – А – D – С – Є. При цьому послідовність формується відповідно до зростання дати виконання роботи (табл.4)

Таблиця 4

Розрахунок роботи з ранішньою датою виконання

Послідовність робіт	Час процесу	Час потоку	Термін виконання роботи	Час запізнення роботи
В	2	2	6	0
A	6	8	8	0
D	3	11	15	0
С	8	19	18	1
Є	9	28	23	5
Підсумок	28	68		6

Показники ефективності для EDD будуть наступними:

- середній час завершення $= \frac{65}{5} = 13,6$ днів;
- середня кількість робіт у системі $= \frac{68}{28} = 2,42$ днів;
- середнє запізнення роботи $= \frac{6}{5} = 1,2$ днів.

Правило пріоритету LPT дає наступну послідовність Є – С – А – D – В. (таблиця 5).

Таблиця 5

Розрахунок найбільшої тривалості виконання робіт

Послідовність робіт	Час процесу	Час потоку	Термін виконання роботи	Час запізнення роботи
Є	9	9	23	0
С	8	17	18	0
А	6	23	8	15
D	3	26	15	11
В	2	28	6	22
Підсумок	28	103		48

Розрахунки показників ефективності стосовно найбільшої тривалості виконання робіт LPT дають наступні результати:

- середній час завершення $= \frac{103}{5} = 20,6$ днів;
- середня кількість робіт у системі $= \frac{103}{28} = 3,68$ днів;
- середнє запізнення роботи $= \frac{48}{5} = 9,6$ днів.

Нижче, у таблиці 6 приводяться результати усіх чотирьох правил

Таблиця 6

Позначення правила	Середній час завершення, дні	Середня кількість робіт в системі	Середнє запізнення роботи, дні
FCFS	15,4	2,75	2,2
SPT	13,0	2,32	1,8
EDD	13,6	2,42	1,2
LPT	20,6	3,68	9,6

Далі розглянемо процедуру визначення параметрів потокового виробництва безпосередньо відносно обробки конкретного виробу.

Важливою задачею у проектуванні потокового виробництва є визначення черговості запуску деталей в обробку, яка б забезпечила мінімальний цикл цієї обробки.

Тривалість циклу обробки деталей $T_{\text{ц}}$ можна визначити за формулою [1]:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{j=1}^{m-1} a_j + \sum_{i=1}^k t_i \cdot n_i, \quad (1)$$

де a_j – величина зміщення між кожною окремою парою зв'язаних робочих місць;

m – кількість робочих місць на потоковій лінії;

$t_i \cdot n_i$ – час обробки i -ї партії деталей на останньому робочому місці;

k – величина комплекту потокової лінії.

Підсумкова величина зміщення a_j складається з двох складових b_j і C_j :

$$\sum_{j=1}^{m-1} a_j = \sum_{j=1}^{m-1} b_j + \sum_{j=1}^{m-1} C_j \quad (2)$$

Величина $\sum_{j=1}^{m-1} C_j$ визначається тим, що одна й та ж деталь не може одночасно оброблятися на двох робочих місцях. Ця величина при підрахунку підсумкових зміщень приймається як постійна і при розрахунку оптимального варіанту не враховується. Тобто на черговість запуску в обробку впливає лиш складова $\sum_{j=1}^{m-1} b_j$.

Величину зміщення b_j для кожної пари зв'язаних робочих місць можна вважати як сумарну величину, що складається з окремих складових, які визначаються послідовно кожною деталлю, тобто як

$$b_j = b_1 + b_2 + \dots + b_k, \quad (3)$$

де $b_1, b_2 \dots b_k$ – величини зміщень на кожній порі зв'язний робочих місць, що відповідно визначаються нерівністю часу обробки партій деталей першої, другої і т.д. черги запуску.

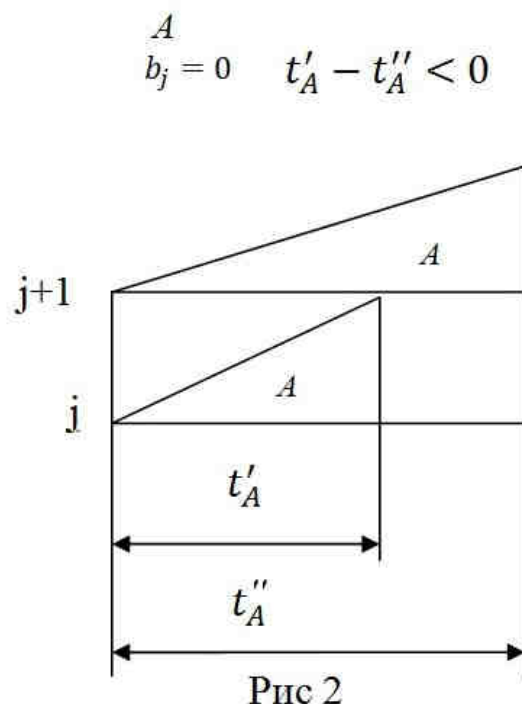
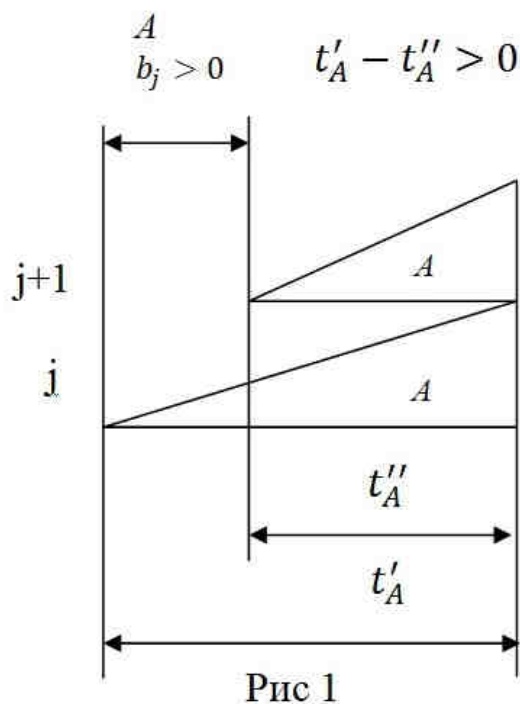
Загальна величина зміщення за всією сукупністю робочих місць потоку (тобто сумарне зміщення від першого до m – го робочого місця) відповідно може мати вигляд:

$$\sum_{j=1}^{m-1} b_j = \sum_{j=1}^{m-1} b_1 + \sum_{j=1}^{m-1} b_2 + \dots + \sum_{j=1}^{m-1} b_k. \quad (4)$$

Далі задача полягає в тому, щоб виявити таку черговість запуску, за якої кожна складова формули (4) мала б мінімальне значення.

Більш докладно розглянемо визначення деталей першої черги запуску.

Відзначимо, що величина зміщення часу обробки кожної деталі поза її зав'язку з іншими на будь-якій парі зв'язаних робочих місць визначається як різниця між часом її обробки на попередньому і наступному робочих місцях. Але зміщення матиме місце лише у тому випадку, коли ця різниця буде більше нуля. На рис 1 показано саме такий випадок, а на рис 2 представлено випадок, коли $b_j = 0$.



В якості прикладу, необхідно розрахувати черговість запуску в обробку чотирьох деталей (А,Б,В,Г), час обробки яких на кожному з п'яти робочих місць заданий у таблиці 7. Нехай розмір партій дорівнює $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 10$ шт; тоді для деталі А величина зміщення для першої пари зв'язаних робочих місць (1-2) буде такою:

$$b_{1-2} = t_1^A - t_2^A = 20 \text{ хвилин}$$

Таблица 7

Вихідні дані обробки деталей

Номер робочого місця	Деталі							
	А		Б		В		Г	
	номер операції	час обробки партії	номер операції	час обробки партії	номер операції	час обробки партії	номер операції	час обробки партії
1	5	6n1	5	4n2	5	8n3	5	2n4
2	10	4n1	10	3n2	10	6n3	10	5n4
3	15	8n1	15	2n2	15	4n3	15	6n4
4	20	4n1	20	3n2	20	4n3	20	8n4
5	25	2n1	25	6n2	25	10n3	—	—

Відповідно сумарна величина зміщення, що визначається кожною окремо взятою деталлю за всією сукупністю зв'язаних робочих місць, може бути розрахована як сума позитивних різниць. Результати розрахунків сумарної величини зміщення для усіх деталей наведено у таблиці 8

Таблица 8

Розрахунки зміщення часу обробки деталей

Зв'язані пари робочих місць	Деталі							
	А		Б		В		Г	
	Різниця $t'_j - t''_j$	Сума позитивних різниць відносно 1-го робочого місця	Різниця $t'_j - t''_j$	Сума позитивних різниць відносно 1-го робочого місця	Різниця $t'_j - t''_j$	Сума позитивних різниць відносно 1-го робочого місця	Різниця $t'_j - t''_j$	Сума позитивних різниць відносно 1-го робочого місця
2-1	20	20	10	10	20	20	- 30	0
3-2	- 40	20	10	20	20	40	- 10	0
4-3	40	60	- 10	20	0	40	- 20	0
5-4	20	80	- 30	20	- 60	40	0	0

Очевидно, що деталь, для якої сума позитивних різниць має мінімальне значення, має бути оброблена першою, оскільки вона забезпечує мінімальну складову в сумарній величині зміщення $\sum_{j=1}^{m-1} b_j$. Як витікає з таблиці 8, в першу чергу слід обробляти деталь Г, оскільки її складова буде мінімальною у величині загального зміщення, формула (4), яка дорівнює $\sum_{j=1}^{m-1} b_j^G = 0$.

Після виконання зазначених процедур для інших зв'язаних пар робочих місць була встановлена черговість обробки деталей, яка виглядає так $\Gamma \rightarrow \text{Б} \rightarrow \text{А} \rightarrow \text{В}$.

Далі необхідно вирішити задачу упередження початку роботи на зв'язаних подачею деталей робочих місцях потоку, що детально висвітлено у посібнику [1].

На завершення відмітимо, що аналіз та визначення параметрів потокового виробництва потребує використання комп'ютерних технологій.

Висновки

Потокова форма є прогресивним засобом організації виробництва, який широко використовується при виготовленні наукоємних виробів. Але впровадження потоків потребує попереднього вирішення ряду проблем, серед яких визначення оптимальної черговості обробки деталей та зміщення початку техпроцесів на зв'язаних робочих місцях потоку.

Список літератури

1. В.П. Божко, Н.М. Федоренко. Расчет параметров поточных линий механической обработки с использованием ЭВМ. – учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию – Х.: ХАИ, 1978, 23с.
2. Парамонов Ф.И. Математические методы расчета многономенклатурных потоков. – М.: Машиностроение 1964, 276с.

З. Козловский В.А., Маркина Т.В. Макаров В.М. Производственный и операционный менеджмент. Учебник - СПб: «Специальная литература», 1998 – 366с.

Надійшла до редакції 30.01.2018

Методика короткосрочного планирования при организации поточного производства

Рассмотрены особенности поточного производства при изготовлении деталей наукоемкой техники.

Организация такого производства зачастую затруднена из-за небольших размеров производственных заказов и частой сменой объекта производства. В статье приведена методика определения очередности запуска изделий в обработку, а также расчета смещений начала работ на связанных местах потока, что в целом обеспечивает сокращение производственного цикла.

Ключевые слова: поточное производство, правило приоритетов, смещение начала работ, оптимальная очередность.

Methodology for Short-Term Planning in Organization of Stream Production

Features of line production in the manufacture of high-tech parts are considered.

The organization of such production is often difficult due to the small size of production orders and frequent changes in the production facility. The article provides a technique for determining the certainty of launching products in processing, as well as calculating the displacement of the beginning of processing at the associated places of the flow, which generally provides a reduction in the production cycle.

Key words: mass production, rule priorities, the start offset of the robot, the optimal sequence.

Відомості про авторів:

Божко Валерій Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фінансів. Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

Контактна інформація 788-46-04, 788-43-69

Божко Дмитро Валерійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник НДІ ПФМ. Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

Омельченко Ольга Леонідівна – старший викладач кафедри економіки Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

Контактна інформація 788-46-24

Карацева Неля Захарівна – старший викладач кафедри фінансів Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

Контактна інформація 788-43-69

Кононенко Антоніна Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри менеджменту. Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

Контактна інформація 788-46-02