

ОЦІНКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИБОРІ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ГНУЧКОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

Вступ

Промислові роботи (ПР) відносяться до автоматизованого програмно-переналаджуваного устаткування, техніко-економічний рівень якого в складі гнучких виробничих систем (ГВС) традиційно оцінюють на основі аналізу значень загальних або частинних цільових функцій оптимізації. При цьому в якості *загальних цільових функцій* використовують зведені витрати або собівартість обробки (зварювання, складання, пофарбування тощо – для технологічних, універсальних ПР) чи обслуговування (перевстановлення, розвантаження/завантаження, переміщення тощо – для допоміжних ПР) виробів в обсязі річної програми випуску, а також продуктивність за певний період, а у якості *частинних цільових функцій* – чисельність персоналу, тривалість виробничого циклу, обсяг незавершеного виробництва тощо.

Проте, для оцінки оптимальності рішень при виборі ПР з зіставляваних типів і груп необхідний інтегральний критерій, що у явному виді зв'язував би сумарний річний ефект E_{Σ} (у натуральному вираженні) від експлуатації ПР при виконанні вимог до якості продукції із сумарними витратами на створення й експлуатацію устаткування.

Інтегральний критерій оцінки варіантів вибору ПР

Як такий критерій можна рекомендувати використання функції

$$J = E_{\Sigma}/B_{\Sigma}, \quad (1)$$

де $B_{\Sigma} = B_e + \rho(t)B_k$ — річні зведені витрати на створення й експлуатацію ПР, грн/рік; B_e — сумарні річні експлуатаційні витрати, грн/рік; B_k — сумарні капітальні (одноразові) витрати на створення ПР, грн.; $\rho(t)$ — коефіцієнт дисконтування, рік⁻¹. Цей коефіцієнт, обумовлений формулою

$$\rho(t) = K_{не} (1 + K_{не})^{t-i} / [(1 + K_{не})^t - 1],$$

залежить від строку t служби устаткування. При нормативному коефіцієнті економічної ефективності $K_{не} = 0, 15$ та $t=5; 10$ й 15 років коефіцієнт $\rho(t) = 0.262; 0.174$ й 0.149 рік⁻¹ відповідно.

У розглянутому випадку E_{Σ} являє собою річну продуктивність Q ПР, шт/рік. Тоді вираз (1) приймає вид:

$$J = Q/B_{\Sigma}, \quad (2)$$

Фізичний зміст цього виразу очевидний: він являє собою величину, зворотну питомим зведеним витратам.

Методика обґрунтування вибору ПР

Уведемо позначення продуктивності різних за сферою застосування ПР: для ПР, що автономно працює в масовому виробництві, $Q = Q_m$; для ПР в складі гнучкої системи, що працює в масовому виробництві, $Q = Q_l$ де Q_l – річна продуктивність лімітуючої позиції; для ПР, що автономно працює в серійному виробництві, $Q = Q_{сер}$, де $Q_{сер}$ – середня річна продуктивність при випуску однотипних виробів; для ПР в складі ГВС, що працює в серійному, дрібносерійному або індивідуальному виробництві, $Q = Q_{\Sigma}$, де Q_{Σ} – сумарна річна продуктивність системи.

Для різних типів автоматизованого устаткування справедливі наступні співвідношення:

$$Q_m = K_{m.в}T/\tau_a, \quad (3)$$

$$Q_l = K_{m.в}T/\tau_l, \quad (4)$$

$$Q_{сер} = K_{в}T/\tau_{сер..л}, \quad (5)$$

$$Q_{\Sigma} = \sum_{m=1}^M K_{в}T\tau_{сер..л}. \quad (6)$$

Тут T – ефективний річний фонд часу, год/рік; $K_{m.в} = (1+B)^{-1}$ – коефіцієнт технічного використання ПР; $B = T_{втр.тех}/T_p$ – питома тривалість втрат часу з технічних причин; $T_{втр.тех}$ – втрати часу з технічних причин; T_p – час роботи ПР; τ_a – такт випуску для автономно працюючого ПР, год/шт; τ_l – такт випуску для лімітуючої позиції ГВС, год/шт; $K_{в} = 1 - (T_{o-m} + T_{op})/T$ – коефіцієнт використання ПР; T_{o-m} – середній час втрат через організаційно-технічні причини, год/рік; T_{op} – час очікування роботи, год/рік; $\tau_{сер} = \sum_{i=1}^{I_m} \tau_i p_i$ – середній такт обслуговування виробів автономно працюючим ПР у серійному виробництві; τ_i – такт випуску виробів i -го найменування; p_i – імовірність надходження виробів i -го найменування на обробку/обслуговування ПР; I_m – кількість найменувань виробів, оброблюваних/обслуговуваних даним ПР за m -м технологічним маршрутом; $\tau_{сер..л} = \left(\sum_{i=1}^{I_m} \tau_i p_i \right)_l$ – середній такт випуску виробів на лімітуючій позиції m -го маршруту; M – число технологічних маршрутів.

Підставляючи у формулу (2) вирази (3) - (6) і вводячи загальне позначення питомого часу випуску (год/шт)

$$\theta = \tau_a/(K_{m.в}T) = \tau_l/(K_{m.в}T) = 1/Q_{сер} = 1/Q_{\Sigma}, \quad (7)$$

одержуємо

$$J = 1/(\theta B_{\Sigma}). \quad (8)$$

Знаменник виразу (8) являє собою питомі (що доводяться на одиницю продукції) зведені витрати $B_{нит.зв}$, і максимум функції J відповідає мінімуму знаменника у виразі (8). Отже, інтегральна оцінна функція оптимальності при виборі ПР має вигляд:

$$B_{\Sigma nit.зв} = \theta B_{\Sigma}. \tag{9}$$

Процедура відбирання варіантів ПР з урахуванням інтегрального критерію

Процедура відбору варіантів ПР (рис. 1) заснована на послідовному попарному порівнянні варіантів (один із яких приймається за базовий) і виборі кращого із двох. При такому порівнянні можливі дев'ять ситуацій (табл. 1).

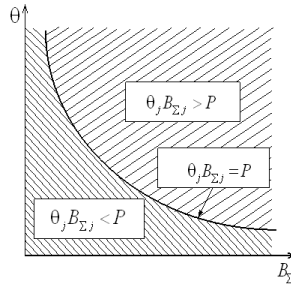
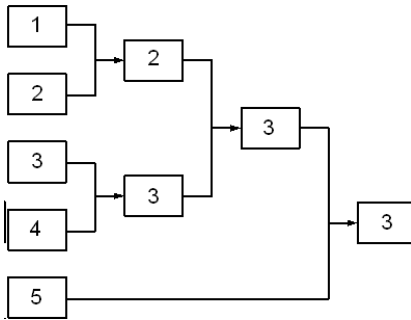


Рис. 1 – Схема відбору варіантів ПР (1-5 - номери варіантів)

Рис. 2 – Графічна інтерпретація граничної умови

Ситуація № 1 описує граничну умову, при якій $\theta_0 B_{\Sigma 0} = \theta_1 B_{\Sigma 1} = \theta_j B_{\Sigma j} = P$ (тут індексом “0” позначений базовий варіант). Графічна інтерпретація граничної умови представлена на рис. 2. Очевидно, що кращі рішення лежать в області під граничною кривою (тобто при $\theta_j B_{\Sigma j} > P$). Прийняття рішень у ситуаціях № 2–7 очевидно, причому в ситуаціях № 2 й 3 оптимальним є новий варіант, а в ситуаціях № 4 й 5 – базовий; в той же час, ситуації № 6 й 7 зустрічаються рідко й свідчать, як правило, або про невдалу конструкцію, або про неправильний підбір об’єктів для порівняння. Отже, основним предметом дослідження при виборі ПР є ситуації № 8 й 9.

Використання інтегральної оцінної функції для різних типів ПР вимагає обов’язкового узгодження параметрів, що знаходяться у правій частині виразу (9). Зведені дані, які необхідно враховувати, представлені в табл. 2.

Отже, якщо розрахунок B_{Σ} для різних типів ПР (або будь-якого технологічного устаткування) не представляє труднощів, то визначення питомого часу обробки або такту випуску вимагає додаткового розгляду.

Для автономно працюючих ПР (локально або з окремим устаткуванням) (див. п. п. 1, 2, 3 табл. 2) як такт випуску приймають відповідно $T_{ум}$, T_{on} і $T_{ум-k}$ (в останньому випадку для однотипних виробів розраховують середньозважені значення $T_{ум-k}$).

Для ГВС характерні мережні виробничо-технологічні структури (рис. 3), яким властива наявність багатопоточних ділянок.

Таблиця 1

| №ситуації | $\theta_0; \theta_1$ | $B_{\Sigma 0}; B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0}; \theta B_{\Sigma 1}$ |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|---|
| 1. | $\theta_0 = \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} = B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} = \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 2. | $\theta_0 > \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} = B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} > \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 3. | $\theta_0 = \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} > B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} > \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 4. | $\theta_0 < \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} = B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} < \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 5. | $\theta_0 = \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} < B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} < \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 6. | $\theta_0 > \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} > B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} \gg \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 7. | $\theta_0 < \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} < B_{\Sigma 1}$ | $\theta B_{\Sigma 0} \ll \theta B_{\Sigma 1}$ |
| 8. | $\theta_0 > \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} < B_{\Sigma 1}$ | $B_{\Sigma 0} \leq B_{\Sigma 1}$ |
| 9. | $\theta_0 < \theta_1$ | $B_{\Sigma 0} > B_{\Sigma 1}$ | $B_{\Sigma 0} \leq B_{\Sigma 1}$ |

Найбільший інтерес у розглянутому аспекті представляють ПР у складі ГВС різних типів, наведених на рис. 3 (див. також п. п. 4 й 5 табл. 2) — спеціальні (автоматичні лінії – рис. 3, а, б, а також спеціалізовані (рис. 3, в) й гнучкі універсальні (рис. 3, г). Аналіз показує, що їхня продуктивність визначається лімітуючою операцією (позицією). Якщо взяти до уваги накладені простоювання ПР (або іншого технологічного устаткування), викликані їх відмовами як на попередніх, так і на наступних позиціях, то продуктивність системи завжди є меншою за продуктивність лімітуючої позиції.

Вплив накладених простоїв найбільш сильно проявляється в спеціальних системах з жорстким міжагрегатним зв'язком, і у багатьох випадках є суттєвим у спеціальних і спеціалізованих системах із гнучким зв'язком, а також у спеціалізованих й універсальних (гнучких) децентралізованих системах, і найменше помітним в універсальних централізованих системах.

Особливості визначення лімітуючої за часом позиції в ГВС

З метою визначення лімітуючої позиції, необхідно для будь-якої багатопоточної ділянки знайти еквівалентний питомий час або такт випуску. Аналіз наведених структур на основі мережних аналогій показує, що коректною моделлю будь-якого багатопоточної ділянки верстатної системи є розгалужений електричний ланцюг постійного струму (фізичні еквіваленти: такт випуску потоку - опір ділянки ланцюга; продуктивність потоку - провідність ділянки ланцюга). Для таких ланцюгів справедливий перший закон Кірхгофа, за аналогією з яким еквівалентний такт випуску виробів на багатопоточних ділянках ГВС всіх типів може бути виражений у такий спосіб:

Таблиця 2

| №п/п | Тип ПР | Такт випуску | Елементи устаткування, що беруться до уваги при розрахунку сумарних капітальних затрат |
|------|---|----------------|--|
| 1 | Спеціальні ПР | $T_{ум}$ | ПР |
| 2 | Спеціальні ПР та окремі їх агрегатні модулі (АМПР) | $T_{оп}$ | ПР, АМПР, автоматичний маніпулятор (АМ), основне технологічне устаткування (ТУ), накопичувачі (Н) при устаткуванні |
| 3 | Спеціалізовані і універсальні ПР | $T_{ум-к}$ | ПР, ТУ, Н |
| 4 | Спеціальні та спеціалізовані ПР в складі ГВС | $T_{оп...л}$ | ПР, АМПР, АМ, ТУ, міжопераційні накопичувачі (МН), транспортна система (ТС), локальні ЕОМ |
| 5 | Універсальні ділянки ГВС з ПР та устаткуванням із ЧПУ | $T_{ум-к...л}$ | ПР, АМПР, ТУ, Н, транспортні засоби з ручним керуванням |
| 5.1 | ділянка з автономних ТУ із ЧПУ, ПР і централізованим керуванням від ЕОМ | | ПР, АМПР, ТУ, Н, ТС, центральна ЕОМ з периферією |
| 5.2 | ГВС із автоматизованою транспортно-накопичувальною системою (АТНС) і централізованим керуванням від ЕОМ | | ТУ, ВМ, ПР, Н, АТНС, центральна ЕОМ з периферією |
| 5.3 | інтегрована ГВС (САD-САP-САM; СІM) | | Автоматизовані робочі місця (АРМ) конструкторів і технологів, центральна ЕОМ з периферією, ТУ, ПР, АМПР, Н, АТНС |

Примітка: $T_{ум}$ - поштучний час обробки виробу; $T_{оп}$ - оперативний час; $T_{ум-к}$ - поштучно-калькуляційний час; $T_{оп...л}$ - оперативний час на лімітуючій позиції; $T_{ум-к...л}$ - поштучно-калькуляційний час на лімітуючій позиції.

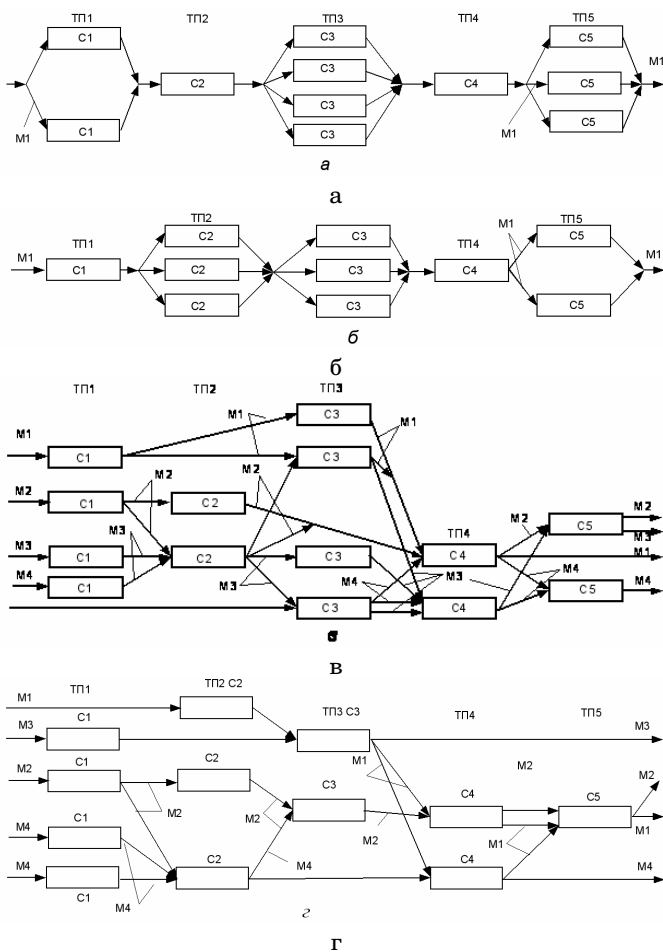


Рис. 3 – Мережіві виробничо-технологічні структури ГВС: а і б – системи лінійні спеціальні; в і г – універсальні; ТП1-ТП5 – технологічні позиції; С1-С5 – модулі ГВС; М1-М4 – технологічні маршрути

$$\tau_{екв} = \prod_{r=1}^R \tau_r / \sum_{r=1}^R \prod_{r=1}^R C_{R-1}^R. \quad (10)$$

де R – число паралельних потоків; τ_r – такт випуску r -го потоку; C_{R-1}^R – число сполучень тактів τ_r із R по $R - 1$.

Після визначення за формулою (10) еквівалентного такту випуску для багатопоточних ділянок вибирають лімітуючу виробничо-технологічний маршрут позицію, стосовно до якої проводять розрахунок по виразах (4), (6), (7) і (9).

Висновки

Наведена методика та послідовність обґрунтування вибору ПР, яка базується на інтегральному критерії оцінки попарного перебирання варіантів, є універсальною і може використовуватись для будь-яких компонент ГВС.