

**ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ**

УДК 621.865.8+658.512.011.56

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.**О.В. Підтиченко, асист.****І.В. Сачук, к.т.н., доц.***Житомирський державний технологічний університет***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ
РОБОЧИХ ПОЗИЦІЙ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ГВС ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОЗИЦІЙ
ПРОМІЖКОВОГО ЗБЕРІГАННЯ**

Розглянуто можливості підвищення ефективності обслуговування промисловими роботами (ПР) робочих позицій (РП) механоскладальних гнучких виробничих систем (ГВС) шляхом застосування позицій проміжкового зберігання (ППЗ) деталей у складі гнучких виробничих комірок (ГВК). Розглянуто можливі варіанти стратегій обслуговування РП ГВК при використанні одномісних ППЗ, наведено їх формалізовані описи. Запропоновано варіант класифікації стратегій обслуговування РП промисловими роботами. Визначено актуальність автоматизованого пошуку оптимальних стратегій обслуговування обладнання в умовах їх багатоваріантності.

Постановка проблеми. При вирішенні задач проектування гнучких виробничих систем (ГВС) та їх складових або переведенні їх на випуск нової продукції необхідним є прийняття рішень по визначенню або модифікації структури та параметрів функціонування тієї чи іншої виробничої системи. При цьому задачі переоснащення ГВС та/або покращення техніко-економічних показників іноді не поступаються за своєю складністю задачам їх первинного проектування. З іншої сторони, проектування ГВС та їх складових є складною, багатоваріантною та трудомісткою задачею, що потребує врахування значної кількості технічних та економічних вимог, критеріїв та обмежень. Тому очевидними є доцільність та актуальність розробки засобів автоматизованого проектування (АП) ГВС, а також автоматизації вирішення окремих проектних задач, що дозволяє суттєво зменшити трудомісткість їх виконання, скоротити терміни технологічної підготовки виробництва, підвищуючи при цьому якість технічних та технологічних рішень, що приймаються.

При цьому важливою задачею при проектуванні механоскладальних ГВС є організація транспортування предметів обробки між одиницями технологічного обладнання, зокрема у межах гнучких виробничих комірок (ГВК), які є складовими ГВС. Як відомо, переміщення предметів обробки між одиницями основного (ОТО) та допоміжного (ДТО) технологічного обладнання – робочими позиціями (РП) – в межах механоскладальних ГВК часто реалізується шляхом використання промислових роботів (ПР), що виконують транспортну функцію [1, 3, 10, 11]. Остання полягає в поштучному транспортуванні всіх задіяних у даний момент предметів обробки – об'єктів маніпулювання (ОМ) – через всі РП, передбачені технологічним маршрутом обробки деталі (ТМОД), та обслуговування при цьому кожної РП (завантаження, розвантаження їх або виконання перевстановлення ОМ) [1–3], [7], [10].

Ефективність організації транспортування ОМ між РП багато в чому визначає ефективність роботи всієї ГВК, як то: кількість та довжину переміщень ПР, їх тривалість у межах загальної тривалості циклу, а отже і циклову продуктивність ГВК, сумарні енерговитрати ПР у циклі роботи, внутрішньоциклові часові втрати на простоювання обладнання тощо.

Підвищення ефективності організації транспортування ОМ у ГВК може бути досягнуто шляхом застосування в складі останніх так званих позицій проміжкового зберігання (ППЗ), що дозволяють отримати значну множину варіантів обслуговування РП промисловим роботом [9]. Тому очевидно є доцільність аналізу множини можливих варіантів обслуговування РП при наявності ППЗ з метою подальшої реалізації автоматизованого вибору оптимального варіанта послідовності обслуговування РП у кожному конкретному випадку.

Мета дослідження. Метою даної роботи є аналіз та класифікація можливих стратегій обслуговування РП за наявності ППЗ у складі ГВК, що передбачає в подальшому реалізацію автоматизованого вибору або формування оптимальних стратегій та послідовностей обслуговування РП при АП ГВК.

Аналіз літературних джерел та попередніх розробок. У літературі з проблем проектування і організації роботи ГВС та ГВК [1], [9] важливе місце приділяється проблемі організації обслуговування РП промисловими роботами; розглядаються варіанти обслуговування РП у ГВК одноруким ПР із одним

чи двома захватними пристроями (ЗП) за відсутності та наявності ППЗ; відмічається можливість збільшення ефективності обслуговування РП (та роботи ГВК в цілому) при виборі більш ефективної організації обслуговування. У той же час варіанти обслуговування ГВК, що містить ППЗ, розглядаються досить поверхово, в загальних рисах. Це обумовлено багатоваріантністю реалізації обслуговування за наявності ППЗ, причому навіть для одного варіанта організації ППЗ (наприклад, для одномісних ППЗ – з ємністю накопичення в одну деталь) та їх розміщення (наприклад, для одної ППЗ біля кожної одиниці ОТО) принципово можливим є формування цілої множини альтернативних варіантів послідовностей обслуговування обладнання [9]. Очевидно, що для кожного конкретного випадку (для конкретного ТМОД, для заданих тривалостей обробки тощо) з цієї множини можна обрати оптимальний за бажаним показником ефективності варіант.

Необхідно зазначити, що рекомендації по вибору найбільш ефективного для певних проектних умов варіанта організації обслуговування РП в літературі є відсутніми. Більше того, розглядається, як правило, лише одна реалізація послідовності обслуговування РП і тільки у встановленому режимі роботи ГВК (при завантаженості всіх РП). Процеси на початку роботи (до встановленого режиму) та завершення роботи ГВК (коли закінчується обробка партії деталей) не розглядаються взагалі. Крім того, практично відсутні рекомендації по визначенню послідовності обслуговування РП за умов ускладненого ТМОД, наприклад, при обробці за декілька встановлень, при повторному проходженні окремих робочих позицій або їх пропусканні. Для таких випадків найбільш ефективно розв'язання задачі обслуговування РП залишається неочевидним або невідомим.

Отже, необхідним є визначення множини альтернативних варіантів організації обслуговування РП за наявності ППЗ, а також визначення відмітних рис та переваг кожного варіанта для створення можливостей автоматизованого пошуку оптимального варіанта в кожному окремому випадку. Все це вимагає системного підходу до задачі організації обслуговування РП промисловими роботами в ГВК.

Відмітимо, що при проектуванні ГВК, однією з бажаних вимог є мінімізація внутрішньоциклових втрат часу, обумовлених необхідністю узгодженої сумісної роботи ПР та РП, які він обслуговує, – необхідністю очікування завершення обробки на тій чи іншій РП перед її обслуговуванням (очікування готовності РП) та можливістю обслужити певну РП тільки тоді, коли відповідний ПР вільний від деталей та знаходиться біля даної РП (очікування на обслуговування промисловим роботом). З літературних джерел, в яких аналізується робота ГВК [1], [3], стає очевидно, що необхідною і достатньою умовою мінімізації очікувань обладнання в циклі роботи ГВК є максимальне наближення тривалості автономної роботи кожної окремої РП до сумарної тривалості обслуговування інших РП у ГВК, а також мінімізація часу між розвантаженням РП та її наступним завантаженням. Такий випадок є випадком ідеального узгодження тривалостей роботи РП та швидкодії ПР, коли ПР не очікує закінчення роботи обладнання для його розвантаження з однієї сторони, а з іншої – відсутнім є простоювання РП в очікуванні на розвантаження (тобто в момент підходу ПР до кожної РП вона якраз завершує обробку деталі) [1]. У такому випадку тривалість циклу буде визначатися тривалістю роботи певної РП та тривалістю її обслуговування (часом від розвантаження попередньо обробленої на ній деталі до моменту завантаження новою деталлю для обробки). Очевидно, що для довільного випадку достатньо складно відразу апріорно організувати обслуговування РП таким чином, щоб досягалося ідеальне узгодження роботи РП та ПР (що обмежується визначеними тривалостями роботи РП, а отже попередньо визначеним складом операцій на них). Особливо ця задача ускладнюється, коли обробка на окремих РП виконується за декілька встановлень. Набагато простішим шляхом є автоматизований аналіз множини можливих варіантів обслуговування РП у кожному конкретному випадку і вибір з неї найкращої альтернативи.

Відомо, що мінімізація часу на обслуговування РП у ГВК, а також покращення інших показників їх ефективності роботи (зменшення довжини траєкторії руху ПР, зменшення тривалості циклу) може досягатись наступними шляхами:

- побудовою якомога більш ефективної для певного групового технологічного процесу (ТП) геометрично-просторової організації РП (оптимального розміщення обладнання) [1], [2], [8];
- використанням ПР з більш високими технологічними можливостями, наприклад, ПР з двома ЗП та дворуких ПР, що дозволяють реалізувати обслуговуючу функцію більш ефективно, суттєво зменшуючи кількість та довжину переміщень ПР, зокрема холостих переміщень [1], [7], [10];
- вибором ефективного складу та параметрів ДТО, зокрема ППЗ, [9] тощо.

Принципово важливим є те, що останні два шляхи обумовлюють багатоваріантність реалізації обслуговування РП у ГВК, а тому визначають доцільність та актуальність пошуку найбільш ефективних організацій та зокрема послідовностей обслуговування РП промисловим роботом.

Аналіз варіантів обслуговування РП промисловим роботом у ГВК шляхом моделювання [4] попередньо показав, що в загальному випадку найбільш суттєве зменшення тривалості циклу може бути досягнуто шляхом застосування однорукого ПР з двома ЗП. Але в кожному окремому випадку можуть бути більш ефективні інші рішення. Особливо це стосується випадків, коли на окремих РП обробка

виконується за декілька встановлень. У таких випадках найбільш ефективним варіантом організації обслуговування РП може бути застосування ППЗ.

Варто зазначити, що ППЗ дозволяють відокремити задачу обслуговування кожної окремої РП від обслуговування інших РП та від міжагрегатного переміщення ПР, зменшити залежність цієї задачі від умов, обумовлених станом інших РП, і тому дозволяють суттєво підвищити ефективність організації обслуговування РП, відкриваючи нові можливості та підходи при розв'язанні задачі обслуговування РП [6].

У попередніх роботах [4], [7], [8] авторами було визначено поняття стратегії та технологічного маршруту обслуговування РП (ТМОРП), що будується для реалізації заданого ТМОД в ГВК на основі певної прийнятої стратегії обслуговування. Розглянуто стратегії обслуговування РП одnorукиm ПР з одним і двома ЗП та дворукиm ПР, також було запропоновано формалізоване представлення стратегії обслуговування та ТМОРП [7].

Визначення організації обслуговування РП промисловим роботом є невід'ємною частиною АП ГВК, зокрема задачі автоматизованого планування обладнання (або РП) ГВК [1], [9] відповідно до запропонованої методики її розв'язку [8], [10]. При цьому розв'язуються такі взаємопов'язані задачі, як вибір оптимальної схеми (компонування) та оптимальної послідовності розташування обладнання у ГВК, визначення послідовності переміщення ЗП ПР між РП при реалізації заданого ТП, формування (відповідно до цієї послідовності) циклової траєкторії переміщення ЗП ПР при поштучному транспортуванні ОМ відповідно до їх ТМОД, визначення циклової продуктивності ГВК (через тривалість циклу роботи) тощо. Відмітимо, що задачі формування траєкторії та визначення циклової продуктивності розв'язуються для кожного варіанта розташування РП із попередньо згенерованої множини можливих, тоді як визначена організація обслуговування є інваріантною до порядку розташування РП і може бути вирішена окремо відразу для всієї множини розміщень [2], [8], [10].

Виклад основної частини. За наявності ППЗ біля кожної РП стратегія обслуговування суттєво відрізняється від випадків обслуговування РП одnorукиm одно- чи двохсхватним ПР без наявності ППЗ, оскільки з'являється можливість обслуговування кожної РП індивідуально, не залежно від стану інших РП, але, очевидно, якщо це дозволяється станом даної РП та ППЗ біля неї: розвантажити дану РП можна тоді, коли є вільним місце, на яке можна встановити ОМ (ППЗ даної РП, ППЗ наступної РП або сама наступна РП є вільною), аналогічно завантажити дану РП можна, коли завершилась обробка ОМ на попередній операції (ОМ знаходиться на попередній РП, її ППЗ або ППЗ даної РП). Тобто наявність ППЗ створює можливість встановлення ОМ не тільки на наступну РП (для цього відповідно до стратегій обслуговування без ППЗ вона має бути вільною), але і на інші вільні місця. Це обумовлює існування множини стратегій при певному складі ДТО, а також множину різних варіантів реалізації кожної стратегії у вигляді ТМОРП. При цьому кількість та сутність стратегій залежить від об'єму ППЗ (кількості ОМ, що одночасно можуть на них зберігатись) [1], [9].

У літературі [9] розглядаються три форми обслуговування РП за наявності одномісних ППЗ біля кожної РП (тобто таких, на яких може знаходитись не більше одного ОМ) при обслуговуванні одnorукиm ПР з одним ЗП. Розглядається послідовна, багатостатна та змішана (комбінована) форма обслуговування, що обумовлюють відповідні стратегії обслуговування. Умовами розгляду є послідовна обробка одного виду деталі на кожній РП (розглядається один найпростіший ТМОД). Отже, виділяються три варіанти форм обслуговування, на основі яких методом комбінацій може бути побудована певна множина стратегій та ТМОРП [9].

1. Послідовна форма обслуговування передбачає послідовне завантаження всіх РП із наступним розвантаженням всіх (рухаючись в напрямку від першої РП до останньої, ПР почергово всіх їх завантажує, далі, рухаючись в зворотному напрямку, від останньої до першої, – розвантажує). Зауважимо, що порядок виконання завантаження чи розвантаження (що є першим у циклі, а що – другим) є несуттєвим і є відтворенням однієї і тієї ж стратегії.

2. Одночасна форма обслуговування передбачає послідовне обслуговування всіх РП із одночасним розвантаженням та завантаженням їх. Тобто виконується рух ЗП ПР від першої РП до останньої, але при цьому одночасно виконуються операції завантаження та розвантаження для кожної РП. Якщо пронумерувати РП за ТМОД та вважати ППЗ біля n -тої РП такою, що має номер n , то загалом n -та РП може бути розвантажена або на n -ту ППЗ, або на $(n + 1)$ -шу ППЗ, або безпосередньо на $(n + 1)$ -шу РП, якщо остання є вільною. Подібним чином n -та РП може бути завантажена або з $(n - 1)$ -ої ППЗ, або з її власної, n -ої ППЗ, або з $(n - 1)$ -ої РП. Із комбінації цих способів завантаження-розвантаження (із врахуванням того, що задана технологічна послідовність деталей операцій – ТМОД – буде збережена) можна отримати інші варіанти стратегій обслуговування та зупинитися на такому, що забезпечує екстремум певної цільової функції, наприклад, максимально повне завантаження за часом РП та ПР.

3. Нарешті виділяється форма змішаного обслуговування, яка включає в себе обслуговування в одному циклі і за першим, і за другим варіантом.

На основі аналізу вказаних трьох форм обслуговування для випадку використання одномісних ППЗ можна побудувати принаймні вісім стратегій обслуговування, що є крайніми частковими випадками послідовної форми обслуговування. Оскільки для послідовної форми обслуговування дії ПР у циклі роботи можна розділити на дві частини – розвантаження РП та їх завантаження, то будемо називати дії ПР у циклі, при яких виконується розвантаження РП на ППЗ, ходом розвантаження, а дії ПР, при яких виконується завантаження РП з ППЗ, – ходом завантаження.

Введемо наступну класифікацію стратегій обслуговування для ГВК, що містить ППЗ:

1. За відповідністю порядку обслуговування РП у ході завантаження та порядку слідування РП у ТМОД. Зазначимо, що для інших форм обслуговування та варіантів стратегій без ППЗ дії ПР по завантаженню та розвантаженню РП суміщаються, тому для однозначності розуміння будемо розглядати тільки хід завантаження. Стратегію, що передбачає процес завантаження РП від РП входу до РП виходу (за ТМОД), будемо називати прямоходовою, а при завантаженні від РП виходу до РП входу (обернено до ТМОД) – зворотногоходовою. У таких тлумаченнях, наприклад, стратегія обслуговування одноруким ПР з одним ЗП буде зворотногоходовою, а з двома ЗП – прямоходовою.

2. За відношенням номерів ППЗ, на які розвантажуються ОМ, до номеру РП, з якої виконується розвантаження. Як було відмічено вище, i -та РП може бути розвантажена або на i -ту ППЗ, або на $(i + 1)$ -шу ППЗ, або безпосередньо на $(i + 1)$ -шу РП. Якщо реалізовувати одну i ту саму схему розвантаження для всіх РП, то останній варіант є втіленням стратегії однорукого ПР з одним ЗП, тому він не розглядається. Відповідно два інших варіанти будемо називати i -розвантажувальною та $(i + 1)$ -розвантажувальною стратегіями.

3. За напрямками міжагрегатних переміщень ПР у ході розвантаження та ході завантаження. Якщо після виконання ходу розвантаження на ППЗ, ПР починає завантажувати ППЗ, яка була розвантажена останньою, виконуючи хід завантаження у зворотному напрямку, то таку стратегію назвемо двонаправленою. Якщо ж після виконання ходу розвантаження ПР повертається до РП, що була розвантажена першою, виконуючи хід завантаження в тій самій послідовності, що й хід розвантаження, то таку стратегію будемо називати однаправленою. Отже, для однаправлених стратегій ходи розвантаження та завантаження виконуються в одному напрямку, а для двонаправлених – у протилежних.

У результаті комбінації названих видів стратегій отримаємо вісім стратегій, які надалі розглядаються із відповідними формалізованими описами.

Нагадаємо формалізований запис стратегії обслуговування РП для однорукого ПР з одним ЗП (скорочений S_0 та розширений S) [7]:

$$\begin{aligned} S_{0_{rate}} &= n_розв, n_зав; n_next; n_1, n_max = n, n+1; n-1; N-1, 2; \\ S_{rate} &= n, n+1 | n-1, n | n-2, n-1 | n-3, n-2 | \dots = \\ &= N-1, N | N-2, N-1 | N-3, N-2 | \dots, \\ &n, n+1 | n-1, n | n-2, \dots | 2, 3 | 1, 2, \end{aligned} \quad (1)$$

де $n_розв$ – умовний індекс РП розвантаження; $n_зав$ – умовний індекс РП завантаження; n_next – умовний номер РП, яка розвантажуються наступною (з якої починається новий “хід ОМ” [7]); n_1 – дійсний номер РП, з якого починається цикл обслуговування; n_max – дійсний номер РП, яким завершується цикл обслуговування.

“Хід ОМ”, представлений для однорукого ПР із одним ЗП двома елементами $n_розв$ та $n_зав$, описує процес зняття одного ОМ у ЗП і переміщення одного ОМ із ЗП на наступну операцію обробки (на наступну РП). Для однорукого ПР із одним ЗП дві послідовні дії ПР по розвантаженню і завантаженню РП задіюють дві РП.

Нагадаємо, що побудова розширеного запису стратегії S на основі S_0 виконується шляхом послідовної підстановки індексу n_next замість значення, що відповідає $n_розв$, у “хід ОМ”. Це виконується для всіх РП від тієї, з якої починається цикл обслуговування, до тієї, на якій він завершується. Тобто формується ланцюжок, в який всюди замість значення, що відповідає $n_розв$, підставлено значення n_1 . Ланцюжок завершується, коли черговий хід ОМ завершується значенням n_max , тобто значення $n_зав$ у певний момент рівне значенню n_max .

Оскільки послідовна форма обслуговування РП передбачає непослідовне виконання розвантаження та завантаження певної РП, а розділення цих задач на дві частини, то і відповідні стратегії формалізовано доцільно представляти двома частинами для ходів розвантаження та завантаження відповідно. Також враховано, що між крайніми РП у певних випадках ОМ передається безпосередньо. У записах змінною P позначено базове зміщення нумерації ППЗ відносно нумерації РП. При цьому враховано, що біля РП входу та РП виходу ППЗ не встановлюються, тому $(P + 1)$ -ша ППЗ знаходиться біля другої за індексом РП.

Отже, маємо такі стратегії для послідовної форми обслуговування РП:

1) двонаправлені прямоходові стратегії:

1.1) $(i + 1)$ -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження від передостанньої до 1-ої РП на $(i + 1)$ -шу ППЗ або на останню РП за ТМОД; завантаження РП виконується у зворотному русі ПР від 2-ої РП до останньої, причому завантаження i -ої РП виконується з її ж i -ої ППЗ (рис. 1, суцільними лініями позначено рух ПР із ОМ, штриховою – без ОМ):

$$\begin{aligned} S_{0_{i+1}SP} &= \langle n_розв, n_зав; n_next; n_1, n_max \rangle = \langle N - 1, N \rangle + \\ &+ \langle n, P + n; n - 1; N - 2, P + 1 \rangle + \langle P + n - 1, n; n + 1; P + 1, N - 1 \rangle; \\ S_{i+1SP} &= \langle N - 1, N \rangle + \langle n, P + n; n - 1, P + n - 1; n - 2, P + n - 2; \dots \rangle + \\ &+ \langle P + n - 1, n; P + n, n + 1; P + n + 1, n + 2; \dots \rangle = \\ &= \langle N - 1, N | N - 2, P + N - 2 | \dots, | n, P + n | \dots, | 1, P + 1 \rangle + \\ &+ \langle P + 1, 2 | P + 2, 3 | \dots, | P + n - 1, n | \dots, | P + N - 2, N - 1 \rangle; \end{aligned} \quad (2)$$

1.2) i -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження при русі від передостанньої до 2-ої РП на i -ту ППЗ; завантаження РП виконується у зворотному русі ПР з 2-ої РП до останньої за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з $(i - 1)$ -ої ППЗ або з 1-ої РП за ТМОД (рис. 2):

$$\begin{aligned} S_{0_{iSP}} &= \langle n_розв, n_зав; n_next; n_1, n_max \rangle = \\ &= \langle n, P + n - 1; n - 1; N - 1, P + 1 \rangle + \langle 1, 2 \rangle + \langle P + n - 2, n; n + 1; P + 1, N \rangle; \\ S_{iSP} &= \langle n, P + n - 1; n - 1, P + n - 2; n - 2, P + n - 3; \dots \rangle + \langle 1, 2 \rangle + \\ &+ \langle P + n - 2, n; P + n - 1, n + 1; P + n, n + 2; \dots \rangle = \\ &= \langle N - 1, P + N - 2 | N - 2, P + N - 3 | \dots, | n, P + n - 1 | \dots, | 2, P + 1 \rangle + \\ &+ \langle 1, 2 | P + 1, 3 | \dots, | P + n - 2, n | \dots, | P + N - 2, N \rangle; \end{aligned} \quad (3)$$

2) двонаправлені зворотноходові стратегії:

2.1) $(i + 1)$ -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження при русі від 1-ої РП до передостанньої на $(i + 1)$ -шу ППЗ або на останню РП за ТМОД; завантаження РП виконується у зворотному русі ПР з передостанньої до 2-ої РП за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з її ж i -ої ППЗ (рис. 3):

$$\begin{aligned} S_{0_{i+1}SP} &= \langle n_розв, n_зав; n_next; n_1, n_max \rangle = \\ &= \langle n, P + n; n + 1; 1, P + N - 2 \rangle + \langle N - 1, N \rangle + \\ &+ \langle P + n - 1, n; n - 1; P + N - 2, 2 \rangle; \\ S_{i+1SP} &= \langle n, P + n; n + 1, P + n + 1; n + 2, P + n + 2; \dots \rangle + \langle N - 1, N \rangle + \\ &+ \langle P + n - 1, n; P + n - 2, n - 1; P + n - 3, n - 2; \dots \rangle = \\ &= \langle 1, P + 1 | 2, P + 2 | \dots, | n, P + n | \dots, | N - 2, P + N - 2 \rangle + \\ &+ \langle N - 1, N | P + N - 2, N - 1 | \dots, | P + n - 1, n | \dots, | P + 1, 2 \rangle; \end{aligned} \quad (4)$$

2.2) i -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження при русі від 2-ої до передостанньої РП на i -ту ППЗ; завантаження РП виконується у зворотному русі ПР з останньої до 2-ої РП за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з $(i - 1)$ -ої ППЗ або з 1-ої РП за ТМОД (рис. 4):

$$\begin{aligned} S_{0_{iSP}} &= \langle n_розв, n_зав; n_next; n_1, n_max \rangle = \\ &= \langle n, P + n - 1; n + 1; 2, P + N - 2 \rangle + \\ &+ \langle P + n - 2, n; n - 1; P + N - 2, 3 \rangle + \langle 1, 2 \rangle; \\ S_{iSP} &= \langle n, P + n - 1; n + 1, P + n; n + 2, P + n + 1; \dots \rangle + \\ &+ \langle P + n - 2, n; P + n - 3, n - 1; P + n - 4, n - 2; \dots \rangle + \langle 1, 2 \rangle = \\ &= \langle 2, P + 1 | 3, P + 2 | \dots, | n, P + n - 1 | \dots, | N - 1, P + N - 2 \rangle + \\ &+ \langle P + N - 2, N | P + N - 3, N - 1 | \dots, | P + n - 2, n | \dots, | 1, 2 \rangle. \end{aligned} \quad (5)$$

3) однонаправлені прямоходові стратегії:

3.1) $(i + 1)$ -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження від 1-ої до передостанньої РП на $(i + 1)$ -шу ППЗ або на останню РП за ТМОД; далі виконується рух до 2-ої РП і завантаження РП виконується у русі ПР з 2-ої РП до передостанньої за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з її ж i -ої ППЗ;

3.2) i -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження при русі від 2-ої до передостанньої РП на i -ту ППЗ; далі виконується рух до 2-ої РП і завантаження РП виконується у русі ПР з 2-ої РП до останньої за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з $(i - 1)$ -ої ППЗ або з 1-ої РП за ТМОД;

4) однонаправлені зворотногоходові стратегії:

4.1) $(i + 1)$ -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження при русі від передостанньої до 1-ої РП на $(i + 1)$ -шу ППЗ або на останню РП за ТМОД; далі виконується рух до передостанньої РП і завантаження РП виконується у русі ПР з передостанньої до 2-ої РП за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з її ж i -ої ППЗ;

4.2) i -розвантажувальна стратегія, що передбачає розвантаження при русі від передостанньої до 2-ої РП на i -ту ППЗ; далі виконується рух до передостанньої РП і завантаження РП виконується у зворотному русі ПР з останньої до 2-ої РП за ТМОД, причому завантаження i -ої РП виконується з $(i - 1)$ -ої ППЗ або з 1-ої РП за ТМОД.

Отже, за наявності ППЗ тільки для послідовної форми обслуговування можна отримати як мінімум вісім повністю відмінних стратегій, які можна комбінувати між собою. Якщо припустити можливість розвантаження окремих РП на наступні РП, на власні ППЗ чи на ППЗ наступної РП, то отримаємо цілу множину різних ТМОП. Так само можна отримати множину стратегій, якщо припускати можливість одночасного розвантаження та завантаження окремих РП. При збільшенні кількості місць під ОМ на кожній ППЗ кількість можливих стратегій також зростає.

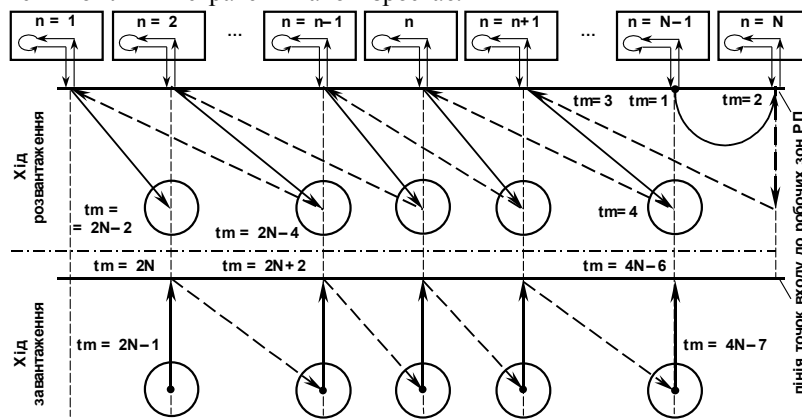


Рис. 1. Ілюстрація прямоходової стратегії обслуговування РП одноруким ПР з одним ЗП за наявності ППЗ при розвантаженні на наступні ППЗ

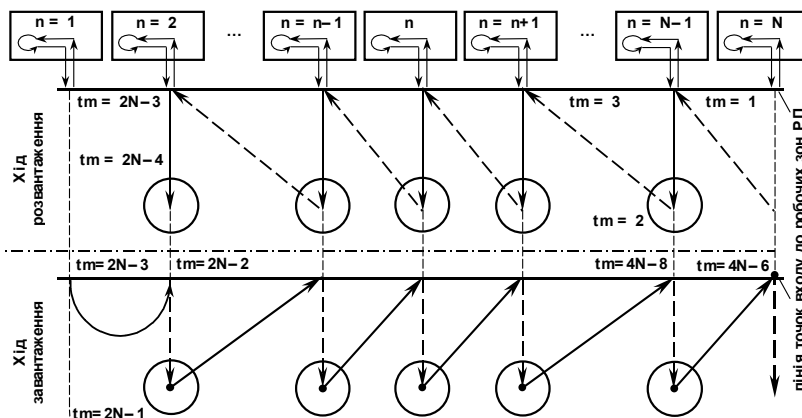


Рис. 2. Ілюстрація прямоходової стратегії обслуговування РП одноруким ПР з одним ЗП за наявності ППЗ при розвантаженні на власні ППЗ

Отже формування та вибір оптимальної стратегії для певного ТП є складною багатоваріантною задачею, розв'язок її може бути виконаний із застосуванням математичного моделювання роботи ГВК для кожного можливого варіанта стратегії з попередньо згенерованої множини, що дозволить обирати найкращу за отриманими при моделюванні показниками ефективності, зокрема показниками продуктивності.

Зазначимо, що збільшення кількості робочих органів ПР, як і застосування ППЗ, дозволяє зменшити циклові втрати шляхом перерозподілу складових часу циклу роботи ГВК. Дослідження впливу застосування ПР з одним та двома ЗП, а також застосування ППЗ на циклову продуктивність шляхом

імітаційного моделювання роботи ГВК [4] показало, що ефективність того чи іншого з вищезазначених способів зменшення тривалості циклу роботи ГВК залежить від конкретних значень тривалостей роботи окремих РП, тривалостей міжагрегатних переміщень ПР (між РП), тривалостей переміщень ПР від РП до ППЗ (у випадках їх застосування) та їх співвідношень, тобто визначається в кожному випадку окремо. При цьому для однієї із стратегій для ППЗ, яка була реалізована програмно (прямоходова двонаправлена *i*-розвантажувальна стратегія), визначено, що її застосування може призводити як до збільшення, так і до зменшення циклової продуктивності при загальному зменшенні кількості та довжини переміщень ПР. Це обумовлено різним часом обслуговування для різних РП, тому доцільність її застосування визначається співвідношенням часів роботи окремих РП. З іншої сторони, її ефективність зростає для випадків наявності перевстановлень у ТМОД. Для цього дана стратегія була модифікована. З метою зменшення часу простоювань ПР та його рухів, несумісних з роботою РП, перше з перевстановлень на РП, які їх мають, реалізується в ході розвантаження, а всі, що залишились (якщо такі є) – в ході завантаження. Також прийнято умову, що міжрегіональні переміщення ПР виконуються довше, ніж переміщення між РП та її ППЗ. У такому випадку поруч з РП, на яких за ТМОД необхідно виконати перевстановлення, доцільно розміщувати по дві ППЗ. Це забезпечує відсутність потреби в ході завантаження повертатись після виконання всіх перевстановлень на певній РП на попередню ППЗ за ОМ.

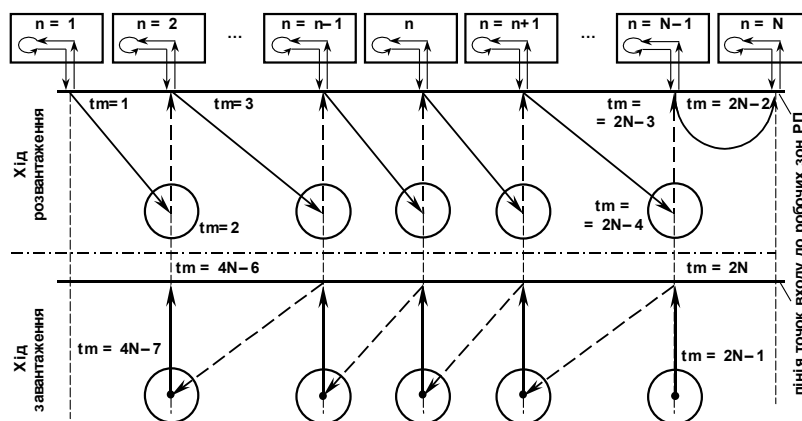


Рис. 3. Ілюстрація зворотногоходу стратегії обслуговування РП одностороннім ПР з одним ЗП за наявності ППЗ при розвантаженні на наступні ППЗ

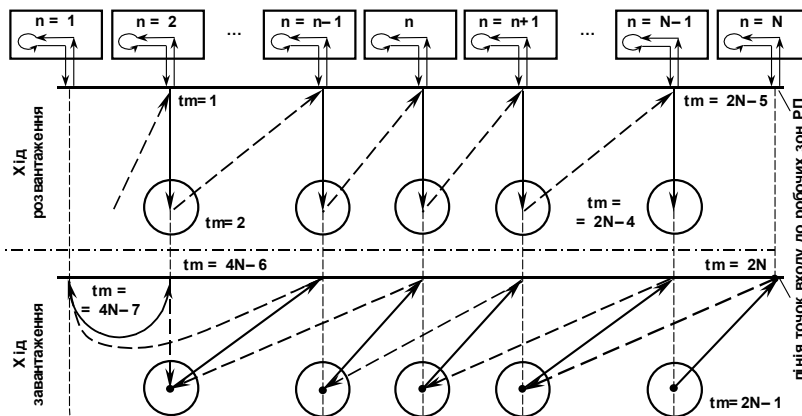


Рис. 4. Ілюстрація зворотногоходу стратегії обслуговування РП одностороннім ПР з одним ЗП за наявності ППЗ при розвантаженні на власні ППЗ

Необхідно відмітити, що для певного варіанта розміщення РП у ГВК та при відомих координатах опорних точок траєкторії переміщення ОМ (враховуючи ділянки глобальних, регіональних та локальних переміщень ЗП ПР) відповідно до ТМОРП формується циклова траєкторія переміщення ЗП ПР [2], [8]. У свою чергу, при відомій траєкторії переміщення ЗП ПР, швидкостях відпрацювання всіх її ділянок та тривалостях виконання технологічних операцій на кожній РП визначається тривалість циклу роботи ГВК та інші кількісні показники ефективності роботи ГВК (коефіцієнти простоювання та завантаження обладнання тощо). Це дозволяє виконувати обґрунтований вибір найкращої альтернативи не тільки серед можливих варіантів розміщення обладнання у ГВК [2], [10], а й серед варіантів реалізації обслуговування РП.

Зазначимо, що, як правило, стратегія обслуговування визначається апріорно на основі аналізу факторів, що її визначають [7]. При побудові ТМОРП на основі обраної стратегії може бути враховано співвідношення тривалостей роботи РП та переміщень ПР між ними з вищезгаданою метою максимального узгодження часів роботи ПР та РП. При цьому тривалості переміщень ПР залежать, очевидно, від розташування РП у межах робочої зони ПР, тому визначення найбільш ефективного ТМОРП на основі обраної стратегії із врахуванням певного розміщення РП теж є окремою практично та науково цікавою задачею. Вибір найкращої стратегії та найкращого ТМОРП може бути виконаний на основі певних визначених показників ефективності, зокрема показників продуктивності, енерговитрат ПР тощо. Це може бути реалізовано шляхом моделювання роботи ГВК як для кожного варіанта розміщення РП, так і для кожного можливого ТМОРП [4].

Крім того, ускладнення постановки задачі АП ГВК у відповідній множині факторів (наприклад, при використанні ППЗ за умов ускладненого ТМОД – обробки за декілька встановлень, при повторному проходженні окремих РП або їх пропусканні тощо) може ускладнити апріорне визначення оптимальної стратегії обслуговування (при тому, що в таких умовах вона не єдиноможлива). Причому, як було раніше показано [7], реалізація стратегії обслуговування у вигляді ТМОРП у певних специфічних випадках (наприклад, для дворуких ПР, за наявності ППЗ) є неоднозначною. Одним із шляхів вирішення проблеми може бути застосування так званих “гнучких” стратегій обслуговування РП, які передбачають виконання обслуговування не за попередньо визначеною схемою, а відповідно до поточної ситуації, що описується певним станом системи, якою представляється ГВК [5], [6]. Інакше кажучи, стратегія формується динамічно в процесі роботи ГВК на основі аналізу поточного стану всіх РП, співвідношень тривалостей роботи РП та рухів ПР і, нарешті, відповідно до певних попередньо закладених принципів. У якості такого принципу може виступати скорочений запис стратегії S_0 . Формування “гнучких” стратегій обслуговування може спростити попередній пошук “жорстко заданих” оптимальних стратегій для складних випадків. Процес генерації “гнучких” стратегій можна реалізувати при виконанні імітаційного моделювання роботи ГВК, що може передбачати аналіз станів всіх елементів цієї виробничої системи і на основі аналізу співвідношень очікуваних закінчень роботи того чи іншого обладнання прийняття рішень щодо найбільш доцільних дій ПР. Сформована таким чином “гнучка” стратегія може слугувати результатом її вибору, що максимально враховує особливості розміщень обладнання та часові параметри його роботи.

Висновки:

1. Розглянуто ряд можливих варіантів стратегій та їх реалізацій у вигляді ТМОРП для випадку використання ППЗ при обслуговуванні обладнання, запропоновано варіант класифікації стратегій обслуговування РП. Можливість багатоваріантної організації обслуговування РП визначає актуальність автоматизованого пошуку оптимальних організацій обслуговування обладнання, зокрема актуальність задачі вибору найбільш доцільного складу ДТО та виду ПР, що забезпечують підвищення ефективності обслуговування РП.

2. Вибір стратегії обслуговування РП та її реалізації в якості ТМОРП впливає на ряд показників ефективності роботи ГВК, що проектуються, і тому є важливим для пошуку оптимальних рішень у рамках задачі автоматизованого планування РП ГВК.

3. Автоматизоване формування оптимальних організацій обслуговування РП в умовах багатоваріантності та неоднозначності може бути спрощений шляхом реалізації моделювання роботи ГВК та формування найбільш доцільного складу дій ПР у циклі роботи залежно від конкретних умов задачі, тобто безпосередньо в процесі моделювання.

Напрямки подальших досліджень:

1. Удосконалення методики автоматизованого планування обладнання ГВК шляхом врахування множини можливих стратегій та їх реалізацій при розв’язанні задачі вибору стратегії обслуговування РП, виконання автоматизованого пошуку найбільш доцільної стратегії на множині їх можливих варіантів.

2. Подальше дослідження можливостей обслуговування РП при використанні ДТО в ГВК, розробка можливих стратегій для ускладнених постановок задачі АП ГВК – в умовах наявності перевстановлень чи повторного проходження РП за ТМОД.

3. Розробка методики та алгоритмів динамічного синтезу послідовності обслуговування в процесі моделювання циклу роботи ГВК та формування на основі цього оптимальних стратегій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бурдаков С.Ф. и др. Проектирование манипуляторов ПР и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
2. Івахненко Ю.В., Кирилович В.А., Сачук І.В. Автоматизоване формування траєкторії переміщення схвата агрегатно-модульних промислових роботів за мінімумом точок позиціонування // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – Спеціальний випуск. – 2002. – С. 85–92.

3. Кирилович В.А. Технологія автоматизованого виробництва. Випуск 1. Практичні заняття. Навчально-методичний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 156 с.
4. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Імітаційне моделювання в проблемі вдосконалення задачі автоматизованого планування обладнання гнучких виробничих систем // Вісник ХНУ / Технічні науки. Ч.1. Т.2. – 2005. – № 5. – С.115–121.
5. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Стратегічні напрямки вдосконалення задач автоматизованого проектування механоскладальних РТК // MECHANICS 2004. Proceedings of the International Scientific Conference. – Scientific Bulletins of Rzeszow University of Technology. – 2004. – No. 209. – Mechanics 62. – P. 209–216.
6. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Шляхи підвищення ефективності функціонування РТК при їх автоматизованому проектуванні // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2003. – № 3 (27). – С. 16–21.
7. Кирилович В.А., Підтиченко О.В., Сачук І.В. Стратегії обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2005. – № 3 (34). – С. 66–75.
8. Кирилович В.А., Сачук І.В. Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технологічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип.12. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 210–214.
9. Козловский В.А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 216 с.
10. Сачук І.В. Автоматизований вибір агрегатно-модульних промислових роботів для ГВС. – Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.20 / НТУУ "КПІ". – К., 2005. – 227 с.
11. Шахинтур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій, декан факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- автоматизація технологічної підготовки механоскладального машино- та приладобудівного автоматизованого виробництва;
- автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій.

Тел. дом.: 38(0412)34–01–65;

роб.: 38(0412)24–14–17.

E-mail: kiril_v@ziet.zhitomir.ua

ПІДТИЧЕНКО Олександр Владиславович – асистент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання, формалізація і складання математичних моделей.

Тел. дом.: 38(0412)34–64–19.

E-mail: stvwm@yandex.ru

САЧУК Ілона Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- автоматизація технологічної підготовки роботизованого механоскладального виробництва.

Тел. дом.: 38(0412)22–93–02.

E-mail: ilonna2002@mail.ru

Подано 25.01.2006

Кирилович В.А., Підтыченко А.В., Сачук И.В. Повышение эффективности обслуживания промышленными роботами рабочих позиций механосборочных ГПС при использовании позиций промежуточного хранения.

Кирилович В.А., Підтыченко О.В., Сачук І.В. Підвищення ефективності обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС при використанні позицій проміжкового зберігання.

Kyrylovych V.A., Pidtychenko O.V., Sachuk I.V. The efficiency increase of working positions servicing by industrial robots in mechano-assembly FMS with intermediate storage places usage.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Повышение эффективности обслуживания промышленными роботами рабочих позиций механосборочных ГПС при использовании позиций промежуточного хранения / В.А. Кирилович, А.В. Підтыченко, И.В. Сачук.

Рассмотрено возможности повышения эффективности обслуживания промышленными роботами (ПР) рабочих позиций (РП) механосборочных гибких производственных систем (ГПС) путем применения позиций промежуточного хранения (ППХ) деталей в составе гибких производственных ячеек (ГПЯ). Рассмотрено возможные варианты стратегий обслуживания РП ГПЯ при применении одноместных ППХ, приведено их формализованные описания. Предложен вариант классификации стратегий обслуживания РП промышленными роботами. Определена актуальность автоматизированного поиска оптимальных стратегий обслуживания оборудования в условиях их многовариантности.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Підвищення ефективності обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС при використанні позицій проміжкового зберігання / В.А. Кирилович, О.В. Підтыченко, І.В. Сачук.

Розглянуто можливості підвищення ефективності обслуговування промисловими роботами (ПР) робочих позицій (РП) механоскладальних гнучких виробничих систем (ГВС) шляхом застосування позицій проміжкового зберігання (ППЗ) деталей у складі гнучких виробничих комірок (ГВК). Розглянуто можливі варіанти стратегій обслуговування РП ГВК при використанні одномісних ППЗ, наведено їх формалізовані описи. Запропоновано варіант класифікації стратегій обслуговування РП промисловими роботами. Визначено актуальність автоматизованого пошуку оптимальних стратегій обслуговування обладнання в умовах їх багатоваріантності.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

The efficiency increase of working positions servicing by industrial robots in mechano-assembly FMS with intermediate storage places usage / V.A. Kyrylovych, O.V. Pidtychenko, I.V. Sachuk.

The possibilities of efficiency increase of working positions (WP) servicing by industrial robots (IR) in mechano-assembly Flexible Manufacturing Systems (FMS) by the workparts intermediate storage places (ISP) usage in Flexible Manufacturing Cells (FMC) are considered. The possible variants of WP service strategies in FMC with one-placed ISP usage are considered, the formal description of service strategies are given. The possible variant of classification of the WP service strategies by IR is proposed. The actuality of computer-aided search of optimal equipment service strategies in conditions of their multivariaty is determined.