

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
О.В. Підтиченко, аспір.
І.В. Сачук, к.т.н.

Житомирський державний технологічний університет

СТРАТЕГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ РОБОЧИХ ПОЗИЦІЙ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ГВС

Розглянуто проблему формування організації обслуговування промисловими роботами (ПР) робочих позицій (РП) при автоматизованому проектуванні гнучких виробничих систем (ГВС), зокрема в рамках задачі автоматизованого планування обладнання гнучких виробничих комірок (ГВК). Запропоновано поняття та формалізований опис стратегії обслуговування, яка визначає склад дій ПР при обслуговуванні РП. Розглянуто можливі варіанти організації обслуговування РП в залежності від технологічних можливостей ПР.

Постановка проблеми. Відсутність на сьогодні єдиних методично-обґрунтованих підходів науково-технологічного проектування та реалізації роботизованих технологій визначає актуальність розробки відповідних інформаційно-методичних та програмних засобів підтримки та прийняття рішень, зокрема при проектуванні гнучких виробничих систем (ГВС), які є основою сучасного гнучкого виробництва. Розробка та впровадження систем автоматизованого вирішення задач проектування ГВС забезпечує покращення якості, скорочення термінів проектування ГВС та підвищення загальної ефективності їх експлуатації. При цьому на особливу увагу заслуговують задачі синтезу структури та формування організації роботи гнучких виробничих комірок (ГВК), які є складовими ГВС [2], [6]. В рамках цієї проблеми однією з важливих задач є визначення форми та організації сумісного функціонування технологічного обладнання в циклі роботи, що серед інших цілей має за мету ефективну реалізацію транспортування предметів обробки між одиницями основного (ОТО) та допоміжного (ДТО) технологічного обладнання – робочими позиціями (РП), тобто виконання обслуговування обладнання механоскладальних ГВС. У гнучкому роботизованому виробництві ця задача вирішується, як відомо, із використанням промислових роботів (ПР) [1, 4, 6–8].

В контексті задачі транспортування предметів обробки останні розглядаються як об'єкти маніпулювання (ОМ). Відомо, що тривалість маніпуляційних дій з ОМ в загальній тривалості циклу може складати 70 % і більше [9], що свідчить про важливість проблеми ефективної організації транспортування ОМ в ГВК. Це визначає доцільність та необхідність розгляду при їх автоматизованому проектуванні (АП) множини альтернативних варіантів організації роботи ГВК як в часі, так і в просторі, та виборі серед них найкращої альтернативи для конкретних умов проектування [3], [5], [7].

Мета дослідження. Метою даної роботи є аналіз проблеми організації обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВК, визначення поняття стратегії як формалізованого представлення організації обслуговування обладнання, а також аналіз сутності проблеми вибору та формування стратегій обслуговування при автоматизованому проектуванні ГВК.

Аналіз літературних джерел та попередніх розробок. В ГВК механоскладального виробництва при відпрацьованні заданого технологічного процесу (ТП), як правило, основною технологічною задачею ПР є поштучне транспортування всіх ОМ, задіяних в обробці, через всі РП, передбачені технологічним маршрутом (ТМ) обробки відповідного виробу (деталі), та обслуговування при цьому кожної РП (завантаження, розвантаження їх або перевстановлення ОМ – повторне завантаження тієї ж РП тим самим ОМ) [1]. При цьому варто нагадати, що ТМ обробки деталі (ТМОД) є не що інше, як послідовність операцій механообробки (механоскладання), що відповідає визначеному в ТП складу технологічних дій на деталь, необхідних для отримання певного виробу, із зазначенням РП, на яких виконуються визначені операції. Іншими словами, ТМОД представляє собою ТМ (послідовність технологічних операцій) обходу ОМ заданих РП (або переміщення по заданих РП).

В літературі з проблем проектування та організації роботи ГВС і ГВК [1], [6] важливе місце посідає проблема організації обслуговування РП промисловим роботом; розглядаються варіанти обслуговування одноруким ПР із одним чи двома захватними пристроями (ЗП) при відсутності та наявності позицій промислових роботів (ПР) на кожній РП (також вказано, що в ГВК [1], [6] розглядаються варіанти обслуговування деталей (ППЗ); відмічається можливість збільшення ефективності обслуговування РП (та роботи ГВК в цілому) при виборі більш ефективної організації обслуговування. З іншого боку, рекомендації щодо вибору найбільш ефективної для певних проектних умов форми організації обслуговування РП є відсутніми. Крім того, розглядається, як правило, лише одна реалізація послідовності обслуговування РП у встановленому режимі роботи ГВК (при завантаженості всіх РП), що обумовлено розглядом відносно простих (або штучно спрощених) проектних ситуацій, для яких існує принципово один варіант розв'язку цієї проблеми або відоме і

очевидне найбільш ефективне рішення. При ускладненні задачі проектування (наприклад, при наявності ППЗ, застосуванні дворуких РР, за умов ускладненого ТМОД – наприклад, обробки за декілька встановлень, при повторному проходженні окремих робочих позицій або їх пропусканні) найбільш ефективне вирішення цієї задачі залишається неочевидним або невідомим. Також не розглядаються процеси на початку роботи (до встановленого режиму) та завершення роботи ГВК (коли закінчується обробка партії деталей).

Відмітимо, що при проектуванні ГВК однією з бажаних вимог є мінімізація внутрішньоциклових втрат часу, обумовлених необхідністю узгодженої сумісної роботи РР 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 РР вільний від деталей та знаходиться біля даної РП (очікування на обслуговування промисловим роботом). Тому важливою задачею при проектуванні ТП є максимальне наближення до ідеального узгодження тривалостей роботи РП та швидкодії РР, коли РР не очікує закінчення роботи обладнання та до моменту підходу РР до кожної РП вона завершує обробку деталі [1]. З очевидних причин досягти ідеального узгодження, як правило, не вдається, особливо в умовах групового, багатоменклатурного виробництва. Тому в рамках проектування ГВК до цієї мети наближаються наступними шляхами [1], [6]:

- побудовою якомога більш ефективної для певного ТП геометрично-просторової організації РП (оптимального розміщення обладнання);

- використанням РР з більш високими технологічними можливостями, наприклад, РР з двома ЗП та дворуких РР, що дозволяють реалізувати обслуговуючу функцію більш ефективно, суттєво зменшуючи кількість та довжину переміщень РР, зокрема холостих рухів;

- вибором ефективного складу та параметрів ДТО, зокрема ППЗ, тощо.

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

Зазначимо, що визначення організації обслуговування РП промисловим роботом є невід'ємною частиною АП ГВК, зокрема задачі автоматизованого планування обладнання (або РП) ГВК [1], [6] у відповідності до запропонованої методики її вирішення [3], [5], [7].

Виклад основної частини. Відповідно до вищесказаного, вирішення задачі автоматизованого планування РП та визначення оптимальної організації їх обслуговування зокрема передбачає формалізацію ряду технологічних понять, що є предметом наступного розгляду.

Якщо кожній РП присвоїти індекс, який відповідає порядковому номеру технологічної операції, що на ній виконується, то послідовність технологічних операцій, тобто ТМОД, можна представити наступною упорядкованою множиною [1]:

$$\pi = \langle 1, 2, \dots, n, \dots, N \rangle, \quad (1)$$

де n – номер РП, на якій виконується відповідна технологічна операція; N – кількість РП, задіяних в даному ТП.

Проте при такому способі визначення ТМОД (ототожнення РП та технологічних операцій) залишається незрозумілим, як описуються ситуації, коли кількість операцій, що розглядаються окремо, перевищує кількість РП (це випадки перевстановлень чи повторного проходження ОМ окремих РП). У даному випадку під операцією формально розуміємо сукупність технологічних дій на РП, що не потребують для свого виконання втручання (обслуговування) з боку РР і тому розглядаються як одне ціле – як неперервний неподільний процес на певній РП. Для врахування сказаного необхідно присвоїти кожній РП індекс (номер) за її порядком у множині наявних РП в ГВК, тоді кожній операції (або групі операцій, що виконуються з одного встановлення) можна присвоїти номер РП, на якій вона виконується. В такому випадку ТМОД формально буде визначений як упорядкована множина (послідовність) операцій із вказанням номера РП, на якій виконується кожна операція. Формалізоване представлення ТМОД представляє собою масив, індекси елементів якого є номерами операцій, а значення елементів – відповідні номери РП. Фактично це відповідає виразу (1) з тією різницею, що індекси елементів (номери операцій) можуть бути не рівними їх значенням (номерам РП), та кількість операцій не обмежується кількістю РП:

$$\pi 1 = \langle n1, n2, \dots \rangle, \quad (2)$$

де $n1, n2$ – порядкові номери РП з їх множини, на яких виконуються технологічні операції, відповідні індексам масиву $\pi 1$.

Тоді порядок розташування РП в даній ГВК можна позначити матрицею-рядком (одномірним масивом) Π розмірністю $[1 \times N]$, де порядковий номер елемента (індекс масиву) позначає місце розташування n -ої РП, індекс (номер) якої задається значенням відповідного елемента масиву. Всього для N робочих позицій таких матриць-рядків може бути $N!$ (кількість перестановок з N). Наприклад, для розташування РП за ходом виконання ТП така матриця прийме вигляд:

$$P[1, 2, \dots, n, \dots, N]. \quad (3)$$

При проектуванні ГВК порядок P розташування РП може як співпадати з послідовністю переміщення ОМ по РП (порядком операцій в ТМОД), яке відповідає послідовності виконання технологічних операцій π , так і бути розміщеним не за ходом ТП.

Зазначимо, що, виконуючи поштучне транспортування всіх ОМ, які знаходяться в певний момент на всіх РП ГВК, ПР виконує обслуговування множини РП у певній послідовності, яку можна назвати одним з наступних способів: ТМ (або послідовність) обходу РП захватним пристроєм ПР, послідовність переміщень ЗП між РП, послідовність обслуговування РП промисловим роботом або, простіше, ТМ обслуговування РП (ТМОРП) [1], [5].

Визначимо ТМОРП як упорядковану послідовність РП (і відповідних переміщень до них та сукупностей дій ПР біля кожної з них), що обслуговуються ПР з метою однократного переміщення всіх задіяних в поточний момент часу в обробці на РП деталей (тобто ОМ) відповідно до їх власних ТМОД на одну наступну операцію обробки. При цьому дії біля певної РП будемо вважати однією елементарною ітерацією (точкою) обслуговування РП, а всю сукупність дій ПР за ТМОРП – одним циклом обслуговування множини РП промисловим роботом, що вкладається рівно в один цикл роботи ГВК. Тоді ТМОРП можна формалізовано представити як масив STM (послідовність або набір точок обслуговування), індекси елементів tm якого представляють собою порядкові номери сукупностей дій ПР по обслуговуванню тієї чи іншої РП (номери точок обходу РП захватним пристроєм ПР), а значення елементів є номерами РП, що обслуговуються у визначеному порядку слідування елементів масиву:

$$STM = \langle n \rangle_{tm}, \quad n \in \{1, \dots, N\}; \quad tm = 1, tm_max. \quad (4)$$

Таким чином, в рамках задачі планування обладнання ГВК, зокрема визначення організації сумісного функціонування обладнання, стоїть задача формування ТМОРП на основі ТМОД відповідно до складу вихідних умов задачі, які визначають відповідні можливості такого перетворення. З огляду на це, доцільним є введення поняття стратегії обслуговування РП промисловим роботом, яка відтворює принцип побудови ТМОРП на основі ТМОД, а саме один варіант з усієї множини можливостей по транспортуванню деталей в певній ГВК при певних вихідних умовах [5], [7]. Іншими словами, стратегія обслуговування являє собою принцип, за яким за допомогою ПР реалізується переміщення всіх задіяних в певний час у ГВК предметів обробки (тобто ОМ) по множині РП згідно з їх власними ТМОД.

Для спрощення розуміння стратегію обслуговування можна формалізовано записати в розширеному вигляді S як всю множину РП, що обслуговуються за ТМОРП, тобто так само, як і ТМОРП (4):

$$S = \langle n \rangle, \quad n \in \{1, \dots, N\}. \quad (5)$$

У такому вигляді стратегія записана як масив РП (упорядкована послідовність переміщення ЗП ПР між РП), але загально, без зазначення конкретної кількості РП. Крім того, для представлення стратегії в такому вигляді умовно приймається, що множини номерів операцій обробки та номерів РП співпадають (приймається послідовна обробка за одне встановлення), тобто у виразах (1–2) приймається, що

$$\pi 1 = \pi. \quad (6)$$

Вибір стратегії та її реалізація у вигляді ТМОРП в однопредметних ГВК (при обробці одного виду деталі) головним чином залежать від технологічних можливостей (виду, конструкції) ПР, складу обладнання ГВК (наявності ППЗ, іншого ДТО тощо) та особливостей (складності) ТМОД (наявності чи відсутності перевстановлень, повертань на попередні РП) тощо [1], [6]. Ці вихідні умови можна визначити як фактори, що обумовлюють вибір стратегії.

Зміна порядку розташування РП P не змінює стратегію обслуговування РП S захватним пристроєм ПР та порядок їх обслуговування (тобто ТМОРП), а лише впливає на довжину траєкторії переміщення ЗП ПР і, як наслідок, на показники циклової продуктивності ГВК [3]. До зміни стратегії приводять зміни у визначеній вище множині факторів (наприклад, зміна конструкції кінематичної структури ПР). При цьому зміна ТМОД (послідовності номерів РП) призводить лише до відповідних змін номерів РП в ТМОРП, оскільки останній є реалізацією стратегії, записаною в конкретних номерах РП.

Зміна порядку розташування РП та/або стратегії обслуговування РП промисловим роботом впливає на такі параметри ГВК, як: довжина траєкторії переміщення ОМ за ТМОД, форма і довжина циклової траєкторії переміщення ЗП ПР за ТМОРП, тривалість циклу роботи ГВК та ряд показників ефективності роботи (наявність та величину внутрішньоциклових втрат часу, відношення часу роботи РП до тривалості циклу тощо). Це вказує на можливість визначення шляхом комбінаторної зміни параметрів розміщення та обслуговування РП оптимального (в розумінні покращення перерахованих параметрів) компонування ГВК разом з побудовою для нього оптимальної траєкторії переміщення ЗП ПР [3], [5], [7].

Розглянемо можливі варіанти стратегії обслуговування РП в ГВК, що обслуговуються одним ПР. При цьому надалі будемо вважати, що перша $n = 1$ РП (“вхід ГВК” або “РП входу”) завантажувється, а остання $n = N$ РП (“вихід ГВК” або “РП виходу”) розвантажувється без участі розглядуваного ПР. Найбільш простим варіантом виконання технологічних операцій над ОМ є послідовне їх виконання на кожній без винятку РП один раз і за одне встановлення (це найпростіший варіант ТМОД). Для прийнятих

обмежень стратегія обслуговування технологічного обладнання РР з однією рукою та одним ЗП при відсутності ППЗ в ГВК відома [1] і наводиться в статті для повноти викладення інформації (рис. 1). Вона проілюстрована як ТМОРП, побудований для встановленого режиму роботи ГВК при виконанні умов (3) та (6).

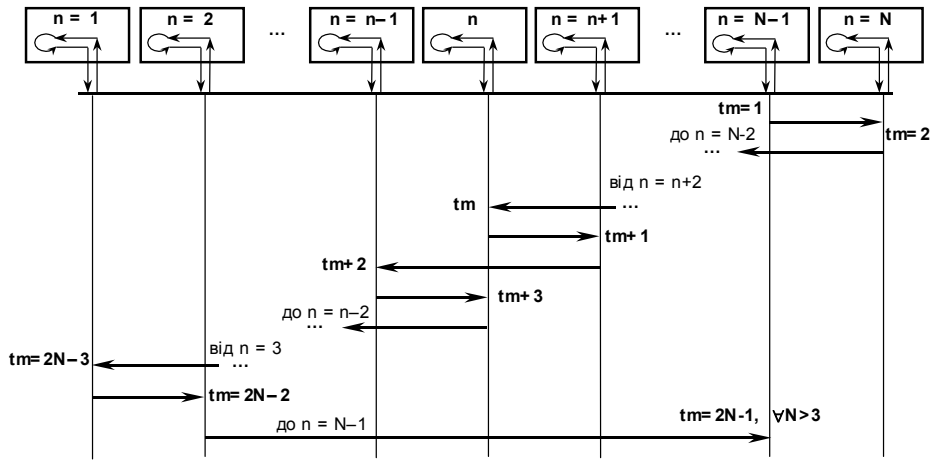


Рис. 1. Ілюстрація стратегії обслуговування РР одноруким ПП з одним ЗП при $\pi = \Pi$

Розглянемо встановлений режим роботи ГВК, коли на всіх РР виконуються або завершилися відповідні технологічні операції над ОМ. У відповідності до розглядуваної стратегії після завершення технологічної операції на n -ій РР захватний пристрій ПР може підійти до даної РР для її розвантаження і при відсутності ППЗ перенести ОМ на наступну за ТМОД ($n + 1$)-шу РР для її завантаження. Це можливо, коли ($n + 1$)-ша РР на цей момент є вільною. Така умова у встановленому режимі та при всіх завантажених РР завжди виконується лише для ($n = N - 1$)-ої РР, оскільки ($n = N$)-та РР є виходом ГВК, її розвантажувати ніколи не треба, і вона завжди вважається вільною. Тому цикл обслуговування РР починається з розвантаження передостанньої ($N - 1$)-ої і завантаження N -ої РР, після чого виконується розвантаження ($N - 2$)-ої і завантаження ($N - 1$)-ої. Таким чином, по чергово розвантажуючи і завантажуючи обладнання, ПР рухається від передостанньої РР ($n = N - 1$) до першої ($n = 1$). Після завантаження з вхідного пристрою ($n = 1$) другої ($n = 2$) РР робот переходить до обслуговування останньої перед вихідним пристроєм – ($n = N - 1$)-ої РР (тільки для кількості РР $N > 3$), і цикл повторюється знову.

Таким чином, розглянуту стратегію у вигляді послідовності переміщень ЗП між РР можна записати наступним чином:

$$S_{late} = \langle N - 1, N, | N - 2, N - 1, | \dots, n, n + 1, | n - 1, n, | n - 2, \dots, | 2, 3, | 1, 2, | N - 1 \rangle. \quad (7)$$

В (7) виділені групи з двох елементів, що відповідають переміщенню ЗП ПР із затисненим в ньому ОМ, тобто так званому “ходу ОМ”.

В рядку розширеного опису стратегії обслуговування (7) можна виділити характерну частину (підмножину S_0), що повторюється протягом всієї послідовності РР і відтворює власне принцип переміщення ОМ для певних розглядуваних умов. Ця частина фактично і є відтворенням стратегії, і її достатньо, щоб відтворити всю розширену послідовність обслуговування S і побудувати ТМОРП на основі ТМОД. В підмножині S_0 можна виділити дві частини, що дозволяють відновити всю послідовність S :

– формальне представлення двох послідовних елементарних ітерацій обслуговування РР (двох дій ПР: одного розвантаження та одного завантаження) – “хід ОМ”;

– умовний номер РР, яка розвантажується наступною, n_{next} .

Перша частина описує процес зняття однієї деталі в ЗП і переміщення однієї деталі із ЗП на наступну операцію обробки (на наступну РР). Для однорукого ПР з одним ЗП дві послідовні дії ПР по розвантаженню і завантаженню РР задіюють дві РР і містять:

– умовний індекс РР розвантаження $n_{розв}$;

– умовний індекс РР завантаження $n_{зав}$.

При цьому конкретні числові значення індексів РР мають умовний характер, значення має лише їх співвідношення. До опису додається:

– дійсний номер РР n_1 , з якого починається цикл обслуговування;

– дійсний номер РП n_max , яким завершується цикл обслуговування.
 Для розглянутого випадку (7) стратегія S_0 запишеться як

$$S_{0_{late}} = \langle n_розв., n_зав; n_next; n_1, n_max \rangle = \langle n, n+1; n-1; N-1, 2 \rangle. \quad (8)$$

Побудова розширеного запису стратегії S на основі S_0 виконується шляхом послідовної підстановки індексу n_next замість значення, що відповідає $n_розв.$ (у даному випадку замість n), в “хід ОМ”. Це виконується для всіх РП від тієї, з якої починається цикл обслуговування, до тієї, на якій він завершується (при цьому РП, з якої цикл повторюється, взагалі в кінці S можна не вказувати). Тобто формується ланцюжок, в якому всюди замість значення, що відповідає n розв. (у даному випадку n), 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 . Тобто для стратегії (8):

$$S_{late} = \langle n, n+1; n-1, n; n-2, n-1; n-3, n-2; \dots \rangle = \langle N-1, N; N-2, N-1; N-3, N-2; N-4, N-3; \dots; 1, 2 \rangle. \quad (9)$$

Як відомо, тривалість циклу роботи ГВК (по відношенню до ПР, що обслуговує РП) містить два типи складових – час роботи ПР ($t_{пр\ н/с}$), несуміщений з роботою тієї чи іншої РП, і час роботи ПР ($t_{прс}$), суміщений з роботою окремих РП, що обслуговуються. Відомо, що з метою зменшення втрат ефективного фонду часу роботи ГВК необхідно організувати обслуговування РП промисловим роботом таким чином, щоб мінімізувати саме несуміщений з роботою обладнання час $t_{пр\ н/с}$, який впливає на величину цих втрат [4], [8]. Одним із шляхів досягнення цього є використання в ГВК ПР із двома ЗП. При цьому під час обслуговування певної РП один ЗП ПР використовується для маніпуляційних дій із заготовкою (ОМ, знятим з попередньої РП), інший – для обробленої на даній РП деталі [1]. У цьому випадку стратегія обслуговування РП (рис. 2) буде відрізнятися від описаної вище. При цьому рука ПР із затисненим в одному із ЗП ОМ, знятим з $(n-1)$ -ої РП, переміщується до n -ої РП і очікує (за необхідності) завершення обробки на ній попереднього ОМ. Далі рука ПР переміщується до робочої зони n -ої РП, знімає вільним ЗП оброблений ОМ і завантажує на його місце інший ОМ, звільнюючи другий ЗП. Після цього під час роботи n -ої РП ПР переходить до обслуговування наступної за ТМОД $(n+1)$ -ої РП (тобто фактично ТМОРП співпадає в даному випадку з ТМОД) [1]. При цьому розглянута стратегія має ті ж обмеження, що і стратегія обслуговування РП ПР з однією рукою та одним ЗП (7).

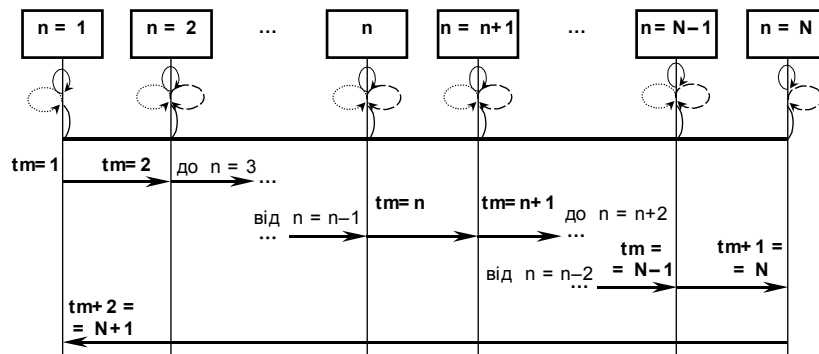


Рис. 2. Ілюстрація стратегії обслуговування РП одноруким ПР з двома ЗП при $\pi = П$:

↺ – переорієнтація ЗП; ↻ – завантаження РП; ↻ – розвантаження РП

Дану стратегію обслуговування РП можна представити як ТМОРП наступним чином:

$$S_{1a2e} = \langle n-1, n, n+1, \dots, N-1, N, 1, 2, 3, \dots, n-2, n-1 \rangle. \quad (10)$$

Для однорукого ПР з двома ЗП дві послідовні дії ПР з розвантаження і завантаження РП задіюють одну РП і містять тому один індекс РП $n_обсл.$, що обслуговується. Виняток становлять РП входу (тільки розвантажується) та РП виходу (тільки завантажується). Якщо прийняти, що цикл обслуговування починається з РП входу і завершується РП виходу, то стратегія в скороченому вигляді запишеться наступним чином:

$$S_{0_{1a2e}} = \langle n_обсл; n_next; n_1, n_max \rangle = \langle n; n+1; 1, N \rangle. \quad (11)$$

Зрозуміло, склад дій ПР при обслуговуванні першої та останньої РП за ТМОД має особливості (див. рис. 2): для РП входу відсутня дія зі встановлення ОМ, а для РП виходу – із зняття ОМ.

Іншим шляхом мінімізації $t_{пр\ н/с}$ є використання ПР з двома руками з одним ЗП на кожній. Зрозуміло, що стратегія обслуговування РП ПР з такою конструкцією відрізняється від попередньо розглянутих. Можливість її застосування взагалі визначається можливістю одночасного обслуговування двох РП в одній елементарній ітерації обслуговування, тобто можливістю одночасного зняття двох ОМ з двох РП,

що стоять поруч, та наступного встановлення цих двох ОМ на дві РП (одна з них – щойно розвантажена), що також стоять поруч. Тобто це вимагає, в першу чергу, упорядкованого геометричного розташування трійок РП, що послідовно входять до ТМОД. Крім того, для дворукого ПР обрана стратегія визначається конструктивним виконанням рук ПР: паралельним чи під кутом, що може бути регульований. Якщо руки ПР конструктивно розташовані паралельно і одночасно можуть обслуговувати тільки одну РП, то стратегія обслуговування РП дворуким ПР аналогічна стратегії (10) для ПР з однією рукою та двома ЗП на ній. Тільки замість зміни ЗП під час обслуговування n -ої РП буде виконуватись зміна рук.

Якщо ж руки конструктивно розташовані паралельно, але одночасно можуть обслуговувати різні РП, то стратегія обслуговування таким ПР буде така ж, як і у разі використання конструкції ПР з двома руками, що розташовані під регульованим кутом. Можливість регулювання кута передбачає фізичну можливість завжди одночасно обслуговувати дві РП (при умові, що всі РП розташовані на однакових кутових відстанях).

Стратегія обслуговування РП дворуким ПР при одночасному обслуговуванні трійок РП (для ПР з конструктивним розміщенням рук під регульованим кутом або з паралельними руками та задовольнянням зазначених вище вимог) визначається за міркуваннями, аналогічними при побудові стратегії обслуговування РП промисловим роботом з однією рукою та одним ЗП, тільки вона будується відповідно для кожної руки. При цьому особливості реалізації стратегії обслуговування РП дворуким ПР визначаються кількістю РП в ГВК – парною чи непарною.

Найпростішим випадком є непарна кількість РП в ГВК, коли всі РП розташовані за ТМОД від першої до останньої зліва направо (рис. 3). У цьому випадку цикл обслуговування РП починається з розвантаження передостанніх РП, як для однорукого ПР з одним ЗП: розвантажуються $(N-2)$ -га (лівою рукою) та $(N-1)$ -ша РП (правою рукою), після чого виконується завантаження щойно розвантаженої $(N-1)$ -шої (лівою рукою) та N -ої РП (правою рукою), далі виконується переміщення на три РП до входу ГВК, розвантажуються $(N-4)$ -га (лівою рукою) та $(N-3)$ -тя РП (правою рукою) і завантажуються відповідно $(N-3)$ -тя (лівою рукою) та $(N-2)$ -га РП (правою рукою). Таким чином, по чергово розвантажуючи і завантажуючи по дві одиниці обладнання, ПР рухається від двох передостанніх РП ($N-2$ та $N-1$) до перших (1 та 2). Після завантаження з вхідного пристрою ($n = 1$) лівою рукою другої ($n = 2$) РП робот переходить до обслуговування двох передостанніх перед вихідним пристроєм РП ($N-2$ та $N-1$), взагалі якщо кількість РП $N = 3$, то ПР опиняється там відразу, після чого цикл повторюється знову.

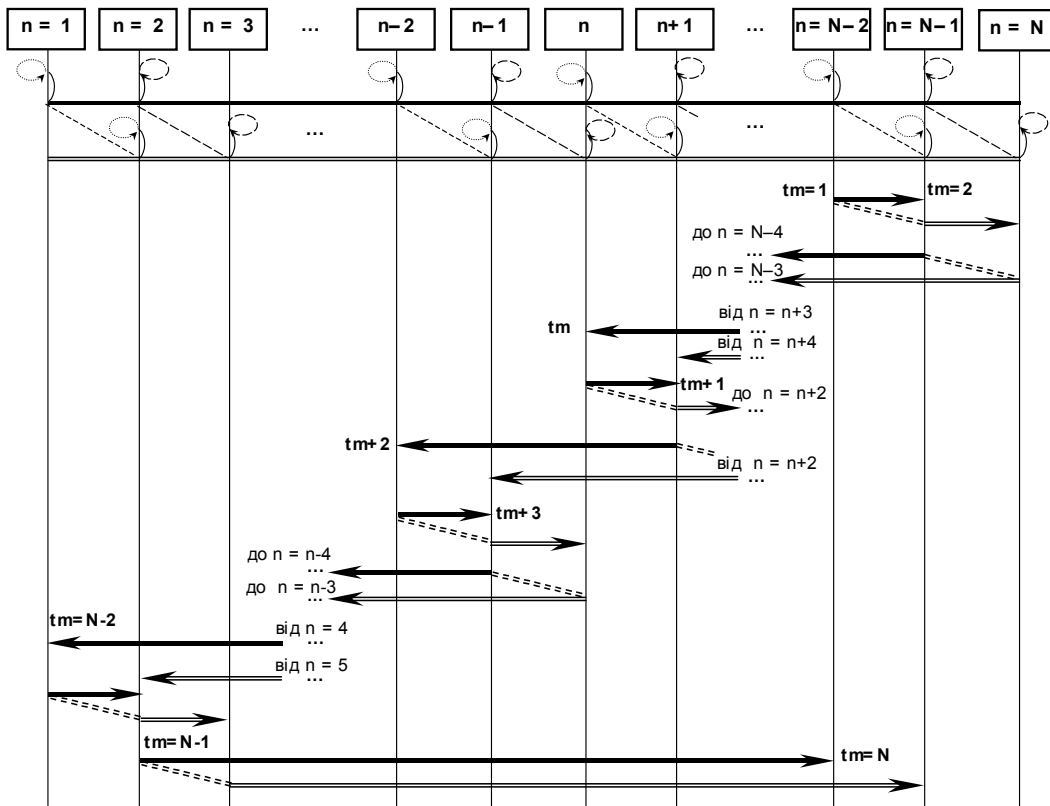
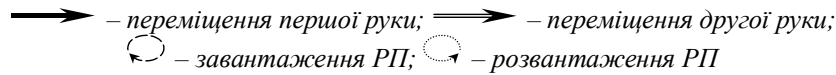


Рис. 3. Ілюстрація стратегії обслуговування непарної кількості РП дворуким ПР при одночасному обслуговуванні трійок РП ($\pi = \Pi$):



Отже, для використання стратегії обслуговування РП промисловим роботом з двома руками, яка передбачає одночасне обслуговування (завантаження або розвантаження), окрім прийнятих раніше обмежень необхідним є виконання наступних умов:

– три РП, що обслуговуються руками ПР (дві перші РП одночасно розвантажуються і дві останні одночасно завантажуються), розташовуються безпосередньо одна біля одної за порядком, зазначеним в ТМОД, або інверсним до нього;

– відстані між парами РП в трійках, що одночасно обслуговуються, мають бути рівними між собою і рівними лінійній (або кутовій) відстані між руками ПР.

При невиконанні цих умов для всіх або для частини РП в таких ситуаціях мають бути застосовані інші стратегії, зокрема одnorукого ПР з одним чи двома ЗП. При цьому, якщо визначені умови виконуються для частини РП в ГВК, цілком можливим є одночасне використання двох стратегій в циклі роботи: стратегії одnorукого ПР – для РП, що не задовольняє вимогам, та дворукого – для РП, що задовольняє вимогам, із періодичним “перемиканням” між цими стратегіями. Останнє має бути враховано при побудові ТМОРП на основі можливих стратегій обслуговування при певному порядку розміщення РП.

При парній кількості РП існує особливість побудови ТМОРП: в одній ітерації обслуговування виконується переміщення тільки одного ОМ з однієї РП (останньої в циклі обслуговування за ТМОРП) на одну наступну РП. Нехай, наприклад, маємо холості переміщення правою або лівою рукою при обслуговуванні першої за ТМОД РП. У такому випадку ТМОРП буде відрізнятися тим, що при обслуговуванні однією з рук ($n = 1$)-ої та ($n = 2$)-ої РП інша рука не буде обслуговувати жодну з РП (переміщується вхолосту). Причиною цього є те, що непарним числом є кількість РП, що завантажуються і розвантажуються (завжди на 1 менше, ніж дійсна кількість РП в ГВК), а дві руки ПР переміщують в кожній ітерації парну кількість ОМ (а саме дві деталі). Тому при парній кількості РП маємо взагалі багатоваріантність побудови ТМОРП: може бути $2(N - 1)$ варіантів, обумовлених можливістю обслуговування, наприклад, розвантаження, однією з рук (правою або лівою) будь-якої з наявних $(N - 1)$ РП, що розвантажуються в циклі. При цьому інша рука виконує холості переміщення біля сусідньої РП.

Будемо стратегію і відповідно ТМОРП для дворукого ПР описувати у вигляді двох масивів: перший масив S_L – для лівої руки, другий S_R – для правої, або поєднуючи їх у двовірний масив S . Так, стратегію обслуговування ПР з двома руками, що розташовані під кутом (або паралельно при можливості одночасного обслуговування двох РП), при непарній кількості РП у встановленому режимі роботи (див. рис. 3) можна записати у формі (5) як ТМОРП наступним чином:

$$S_{2a} = \left\langle \begin{matrix} S_L \\ S_R \end{matrix} \right\rangle = \left\langle \begin{matrix} N-2, & N-1, & N-4, & N-3, & \dots \\ N-1, & N, & N-3, & N-2, & \dots \\ n, & n+1, & n-2, & n-1, & \dots, & 3, & 4, & 1, & 2, & N-2 \\ n+1, & n+2, & n-1, & n, & \dots, & 4 & 5 & 2 & 3 & N-1 \end{matrix} \right\rangle. \quad (12)$$

У (12) відокремлені частини, що відповідають переміщенням двох ОМ, затисненим в ЗП ПР, на наступні РП обробки. Аналогічно (8), виділяючи характерну частину стратегії, її можна записати у скороченому вигляді:

$$S_{0_{2a}} = \left\langle \begin{matrix} S_L \\ S_R \end{matrix} \right\rangle = \left\langle \begin{matrix} n_розв_L, & n_зав_L; & n_next_L; & n_1_L, & n_max_L \\ n_розв_R, & n_зав_R; & n_next_R; & n_1_R, & n_max_R \end{matrix} \right\rangle = \left\langle \begin{matrix} n, & n+1; & n-2; & N-2, & 2 \\ n+1, & n+2; & n-1; & N-1, & 3 \end{matrix} \right\rangle. \quad (13)$$

При парній кількості РП розглянемо два варіанти ТМОРП:

– встановлення ОМ, знятого з ($n = 1$)-ої РП на ($n = 2$)-гу виконується рукою, яка знаходиться за конструктивним розташуванням ближче до входу ГВК. При цьому друга рука виконує холості переміщення до ($n = 2$)-ої РП під час розвантаження першою рукою ($n = 1$)-ої РП та до ($n = 3$)-ої РП під час завантаження першою рукою ($n = 2$)-ої РП;

– встановлення ОМ, знятого з ($n = 1$)-ої РП на ($n = 2$)-гу виконується рукою, яка конструктивно знаходиться далі від входу в ГВК. При цьому друга рука виконує холості переміщення за межами робочої області ГВК під час розвантаження першою рукою ($n = 1$)-ої РП та при переміщенні до ($n = 2$)-ої РП під час завантаження першою рукою ($n = 3$)-ої РП.

В обох випадках після обслуговування першої та другої РП ПР переміщується до вихідного положення: перша рука переходить до ($n = N - 2$)-ої РП, а друга – до передостанньої ($n = N - 1$)-ої, і цикл обслуговування починається спочатку.

Наведемо ТМОПП, наприклад, для випадку холостого переміщення правої руки біля першої РП:

$$STM_{2a} = \begin{matrix} \left\langle S_L \right\rangle \\ \left\langle S_R \right\rangle \end{matrix} = \begin{matrix} \left\langle N-2, & N-1, & N-4, & N-3, & \dots, \\ N-1, & N, & N-3, & N-2, & \dots, \\ n, & n+1, & n-2, & n-1, & \dots, & 2, & 3, & 1, & 2, \\ n+1, & n+2, & n-1, & n, & \dots, & 3 & 4 & 0 & 0 \right\rangle. \end{matrix} \quad (14)$$

У виразі (14) нульовими елементами позначено холості переміщення правої руки, коли ліва переміщується від 1-ої до 2-ої РП. Аналогічно, для холостого ходу лівої руки нулями будуть позначені два елементи першого масиву. Якщо ж виконувати холостий рух біля останньої за ТМОД РП (наприклад правою рукою), то отримаємо ТМОПП зі зміщеними на одиницю номерами РП, але який завжди (для будь-якої кількості РП – парної чи непарної) є сталим (при записі в конкретних значеннях номерів РП) в частині для номерів РП з $n < N-1$:

$$STM_{2a} = \begin{matrix} \left\langle S_L \right\rangle \\ \left\langle S_R \right\rangle \end{matrix} = \begin{matrix} \left\langle N-1, & N, & N-3, & N-2, & \dots, \\ 0, & 0, & N-2, & N-1, & \dots, \\ n, & n+1, & n-2, & n-1, & \dots, & 3, & 4, & 1, & 2, \\ n+1, & n+2, & n-1, & n, & \dots, & 4 & 5 & 2 & 3 \right\rangle. \end{matrix} \quad (15)$$

У такому випадку ліва рука завжди буде розвантажувати непарні номери РП (права – парні), а завантажувати – парні номери (права – непарні) так само, як при непарній кількості РП в ГВК.

Зазначимо, що збільшення кількості робочих органів ПР дозволяє зменшити циклові втрати шляхом перерозподілу складових часу циклу роботи ГВК (зменшення $t_{пр\ н/с}$ і збільшення $t_{прс}$). При цьому, чим більше тривалість циклу роботи ПР порівняно з часом технологічної дії над ОМ на РП, тим більший ефект дасть використання ПР з двома ЗП чи двома руками порівняно з використанням одноруких ПР та ПР з одним ЗП [4], [7], [8].

Необхідно відмітити, що при відомих координатах опорних точок траєкторії переміщення ОМ біля кожної РП формуються відповідні ділянки регіональних та локальних переміщень ЗП ПР, об'єднання яких у відповідності до ТМОПП, що визначається стратегією обслуговування РП, утворює циклову траєкторію переміщення ЗП ПР [3]. У свою чергу, при відомій траєкторії переміщення ЗП ПР, швидкостях відпрацювання всіх її ділянок та тривалостях виконання технологічних операцій на кожній РП можна визначити тривалість циклу роботи ГВК у встановленому режимі роботи та відповідні кількісні показники ефективності роботи ГВК (коефіцієнти простоювання та завантаження обладнання та ПР тощо). Це дозволяє виконувати обґрунтований вибір найкращої альтернативи планування обладнання ГВК серед варійованих варіантів розміщення РП, кінематичних структур ПР та побудованих на цій основі траєкторій переміщення ЗП ПР [3], [7].

Висновки.

1. Проаналізовано проблему організації обслуговування обладнання промисловим роботом, представлено задачу формування організації обслуговування РП як невід'ємну складову відповідної методики автоматизованого планування обладнання ГВК.

2. Вперше визначено поняття стратегії обслуговування, яка визначає склад дій ПР при обслуговуванні РП, запропоновано формалізовані описи стратегій обслуговування, ТМОД та ТМОПП, зручні для використання в задачі автоматизованого планування РП ГВК.

3. Розглянуто ряд можливих варіантів стратегій та їх реалізацій у вигляді ТМОПП в залежності від технологічних можливостей ПР. Можливість багатоваріантної організації обслуговування РП визначає актуальність автоматизованого пошуку оптимальних організацій обслуговування обладнання, що забезпечують підвищення ефективності обслуговування РП.

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

Напрямки подальших досліджень.

1. Удосконалення методики автоматизованого планування обладнання ГВК шляхом врахування множини можливих стратегій та їх реалізацій при вирішенні 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 – при використанні ППЗ та при умові наявності перевстановлень чи повторного проходження РП за ТМОД.

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. ГОСТ 26228–90. Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.
3. Ивахненко 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.
4. Кирилович В.А. Технологія автоматизованого виробництва. Випуск 1. Практичні заняття: Навчально-методичний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 156 с.
5. 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.
6. Козловский В.А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 216 с.
7. Сачук І.В. Автоматизований вибір агрегатно-модульних промислових роботів для ГВС. – Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.20 / НТУУ "КПІ". – К., 2005. – 227 с.
8. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
9. Ямпольский Л.С., Калинин О.М., Ткач М.М. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства. – К.: Вища школа, 1987. – 271 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 – аспірант 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 26.05.2005

Кирилович В.А., Підтиченко О.В., Сачук І.В. Стратегії обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС

Кирилович В.А., Підтиченко А.В. Сачук И.В. Стратегии обслуживания промышленными роботами рабочих позиций механосборочных ГПС

Kyrylovych V.A., Pidtychenko A.V., Sachuk I.V. The strategies of the working positions servicing by industrial robots in mechano-assembly FMS

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Стратегії обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко, І.В. Сачук.

Розглянуто проблему формування організації обслуговування промисловими роботами (ПР) робочих позицій (РП) при автоматизованому проектуванні гнучких виробничих систем (ГВС), зокрема в рамках задачі автоматизованого планування обладнання гнучких виробничих комірок (ГВК). Запропоновано поняття та формалізований опис стратегії обслуговування, яка визначає склад дій ПР при обслуговуванні РП. Розглянуто можливі варіанти організації обслуговування РП в залежності від технологічних можливостей ПР.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Стратегии обслуживания промышленными роботами рабочих позиций механосборочных ГПС / В.А. Кирилович, А.В. Підтиченко, И.В. Сачук.

Рассмотрено проблему формирования организации обслуживания промышленными роботами (ПР) рабочих позиций (РП) при автоматизированном проектировании гибких производственных систем (ГПС), в частности в рамках задачи автоматизированной планировки оборудования гибких производственных ячеек (ГПЯ). Предложено понятие и формализованное описание стратегии обслуживания, которая определяет состав действий ПР при обслуживании РП. Рассмотрены возможные варианты организации обслуживания РП в зависимости от технологических возможностей ПР.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

The strategies of the working positions servicing by industrial robots in mechano-assembly FMS / V.A. Kyrylovych, A.V. Pidtychenko, I.V. Sachuk.

The problem of the organization forming of the working position (WP) servicing by industrial robots (IR) at the computer-aided design of Flexible Manufacturing Systems (FMS) is considered, particularly at the equipment planning task of Flexible Manufacturing Cells (FMC). The conception and formal description of service strategy that determines IR operation composition while WP servicing are suggested. Possible variants of WP service organization depending of IR technological abilities are considered.