

УДК 621.865.8+658.512.011.56

В. Кирилович, канд. техн. наук; О. Підтиченко

Житомирський державний технологічний університет

АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ МАРШРУТІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ РОБОЧИХ ПОЗИЦІЙ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ

Розглянуто задачу автоматизованого формування технологічного маршруту обслуговування робочих позицій (ТМОП) промисловими роботами (ПР) в межах механообробних гнучких виробничих комірок (ГВК). У роботі представлено програмну реалізацію задач формування ТМОП та наступного моделювання його відпрацювання, що дозволяє визначати параметри продуктивності ГВК, які проектується, та формувати склад дії ПР при їх роботі.

V. Kyrylovych, O. Pidtychenko

COMPUTER-AIDED FORMING OF WORKING POSITIONS SERVICE ROUTES OF INDUSTRIAL ROBOTS

The task of computer-aided forming of working positions technological service route (WPTSR) of industrial robots (IR) in mechanoprocessing flexible manufacturing cells (FMC) is considered. The software realization of the tasks of WPTSR forming and following simulation of its processing are presented in this work. This allows to determine the productivity parameters of FMC being designed and to form the IR actions sequences during FMC work.

Вступ. Одним із напрямків автоматизації машино- та приладобудівного виробництва, що базується на використанні роботизованих технологій, є впровадження гнучких виробничих систем (ГВС). Проте проектування ГВС та їх складових є складною, багатоваріантною та трудомісткою задачею, що вимагає врахування значної кількості технічних та економічних вимог, критеріїв та обмежень. Особливе значення при цьому має те, що ієрархічна будова ГВС, що містить у своєму складі гнучкі виробничі модулі та гнучкі виробничі комірки (ГВК) в різних комбінаціях, та присутність множини технологічних, транспортних, геометричних, енергетичних та інших зв'язків визначає ГВС як складні технічні системи. Все це вказує на доцільність та актуальність розробки засобів автоматизованого проектування (АП) ГВС та їх складових, що, в свою чергу, дозволяє суттєво зменшити трудомісткість проектування, а також підвищити якість рішень, що приймаються.

При проектуванні нових гнучких механообробних виробництв та роботизації існуючих виробництв однією з важливих задач є організація транспортного обслуговування технологічного обладнання (ТО), під якою в даному контексті розуміються задачі завантаження ТО предметом обробки – об'єктом маніпулювання (ОМ), розвантаження ОМ з одиниць ТО, що закінчили обробку, та міжагрегатне транспортування ОМ на наступні позиції обробки. В рамках ГВК задача транспортного обслуговування ТО виконується промисловими роботами (ПР). При проектуванні ГВК, в яких обслуговування ТО, включаючи міжагрегатне транспортування ОМ, виконується одним ПР, необхідно вирішувати задачу складання так званого технологічного маршруту обслуговування ТО [1–5]. Крім того, необхідним є визначення складу дій (переходів) ПР при обслуговуванні ТО, тобто загального алгоритму сумісного функціонування ТО ГВК [1]. Тому актуальною проблемою є автоматизація вирішення даних задач.

Таким чином, метою даної роботи є представлення методики та програмної реалізації автоматизованого формування маршрутів обслуговування ТО промисловими роботами та автоматизованої побудови послідовності дій (переходів) ПР при обслуговуванні ТО механообробних ГВК на основі імітаційного моделювання роботи останніх.

Аналіз стану проблеми та останніх публікацій. При вирішенні окремих задач АП ГВК одиниці ТО доцільно розглядати як робочі позиції (РП). При цьому кожна РП формально представляє одиницю ТО або його частину, на якій перебуває кожен ОМ при виконанні його обробки та транспортування в ГВК згідно з відповідним технологічним маршрутом обробки деталі (ТМОД). При цьому враховується, що ОМ перебуває в ГВК не тільки на основному ТО (що може, до речі, містити декілька позицій обробки), а й на допоміжному ТО – вхідних та вихідних накопичувачах деталей, засобах упорядкування середовища, позиціях проміжкового зберігання (ППЗ) тощо.

У літературі з проблем проектування та організації роботи ГВС та ГВК [1, 5] важливе місце займає проблема організації транспортного обслуговування ТО промисловими роботами, розглядаються варіанти обслуговування ТО в ГВК одноруким ПР з одним чи двома захватними пристроями (ЗП) при відсутності чи наявності ППЗ. Проте розглядаються, як правило, лише окремі принципи побудови маршруту обслуговування ТО (особливо при наявності ППЗ) і тільки у встановленому режимі (при завантаженості всього обладнання). Процеси на початку роботи (до встановленого режиму) та завершення роботи (коли закінчилися деталі на вході ГВК) не розглядаються взагалі. Крім того, практично відсутні рекомендації щодо визначення маршруту обслуговування ТО при ускладненому ТМОД, наприклад, при обробці на окремих одиницях ТО за декілька встановлень.

З огляду на недостатню пропрацьованість та неоднозначність викладення розглянутого питання в літературі, складності та багатоваріантності формування маршруту обслуговування ТО ПР, а також необхідності створення теоретичної основи для автоматизованого вирішення даної задачі, в попередніх роботах [2–4] авторами було чітко визначено поняття та запропоновано формалізовані описи стратегії обслуговування та технологічного маршруту обслуговування РП (ТМОРП), який будується для реалізації заданого ТМОД в ГВК на основі певної стратегії, що приймається. Розглянуті стратегії обслуговування РП одноруким одно- та двоххватним ПР, дворуким ПР, а також одноруким ПР при використанні ППЗ. При цьому визначено структури даних, необхідні для автоматизованої побудови ТМОРП.

Автоматизоване формування складу дій ПР запропоновано виконувати методом імітаційного моделювання роботи ГВК [2] з моменту початку роботи до її завершення. При цьому можуть бути визначені показники продуктивності ГВК, що проектується, що є важливим для прийняття рішень на окремих етапах АП ГВК, в тому числі для задачі планування обладнання та пошуку оптимальної стратегії обслуговування ТО [2].

Методика автоматизованого формування ТМОРП. Автоматизоване формування ТМОРП виконується на основі аналізу необхідного ТМОД та реалізації транспортування ОМ за ТМОД згідно з стратегією обслуговування РП, що приймається. Допустима стратегія, в свою чергу, визначається типом (технологічними можливостями) ПР, тобто наявністю чи відсутністю декількох рук або ЗП, а також наявністю чи відсутністю ППЗ [3, 4]. Методика формування ТМОРП на основі ТМОД та стратегія обслуговування базується на наступних прийнятих положеннях. ТМОД формально визначається як упорядкована послідовність технологічних операцій (груп операцій), що виконуються над деталлю з одного встановлення, із вказівкою номера РП, на якій виконується певна операція (група операцій). Для цього кожній з РП, на яких виконуються операції, формально включаючи вхідні та вихідні накопичувачі ГВК, присвоюються порядкові номери. Технологічні операції також нумеруються за порядком їх виконання. Тоді ТМОД формалізовано представляється масивом $PTM[m]$,

індекси елементів m якого є номерами операцій, а значення елементів – відповідними номерами РП [2–4]. ТМОРП є упорядкованою послідовністю РП (та відповідних переміщень до них), які обслуговуються ПР з метою однократного переміщення всіх задіяних у даний момент часу в обробці на РП деталей у відповідності до їх ТМОД на наступну РП. Формалізовано ТМОРП представляється масивом $STM[tm]$, індекси елементів tm якого є порядкові номери груп дій ПР для обслуговування тієї чи іншої РП, а значення елементів (точки обслуговування) є номерами РП, які обслуговуються за порядком слідування елементів масиву. Кожен елемент масиву ТМОРП може відповідати одній з таких груп дій ПР: зняття ОМ з ПР, завантаження ОМ на РП, перестановка ОМ на РП (розвантаження, переорієнтація та наступне завантаження) [2–4]. Стратегія обслуговування являє собою принцип, за яким за допомогою ПР реалізується переміщення всіх задіяних у певний момент часу в ГВК предметів обробки (тобто ОМ) за РП ГВК згідно з ТМОД [2–4]. В [3] було розглянуто поняття форми обслуговування та сформовано ряд можливих стратегій обслуговування РП при наявності одномісних ППЗ для послідовної форми (коли дії розвантаження та завантаження всіх РП повністю відокремлені). Виділено ряд, так званих, двонаправлених та однонаправлених стратегій для послідовної форми. При цьому серед всіх стратегій можуть бути виділені ті, що дають перевагу порівняно з обслуговуванням без ППЗ (так звані «ефективні стратегії»). В процесі подальших досліджень було сформовано ряд стратегій для одночасної (або індивідуальної) форми обслуговування, коли дії щодо розвантаження та наступного завантаження даної РП суміщені. Також було розглянуто проблему реалізації виконання перевстановлень, якщо вони передбачені за ТМОД. Сформовані способи реалізації перевстановлень в основному зводяться до таких: в ході обслуговування (завантаження/розвантаження) – для індивідуальної форми обслуговування, до виконання обслуговування послідовно на кожній РП, до виконання обслуговування паралельно для всіх РП (для всіх форм).

Необхідно зазначити, що для виконання імітаційного моделювання з метою формування складу дій ПР при роботі ГВК та визначення циклової продуктивності (на основі фіксації тривалості циклу роботи) необхідно формувати ТМОРП з моменту початку роботи ГВК (тобто з моменту надходження першої деталі в обробку). Послідовність РП, які обслуговуються ПР та періодично повторюються в циклі роботи ПР (коли всі одиниці ТО завантажені та виконують обробку), названа послідовністю встановленого режиму (ПВР). Як тільки буде зафіксовано, що тривалість виконання дій ПР протягом ПВР є сталою, тобто досягнутий встановлений режим за часом виконання, тоді тривалість відпрацювання ПВР буде тривалістю циклу роботи ГВК [2]. Автоматична побудова ТМОРП, як було відзначено вище, виконується з початку роботи ГВК до виходу на встановлений режим в циклі. Для цього в масив ТМОРП вноситься послідовність дій ПР не тільки у встановленому режимі (тобто ПВР), а й від початку роботи до виходу на нього – послідовність виходу на встановлений режим (ПВВР). Крім того, можливим є автоматичне формування ТМОРП до закінчення роботи ГВК, що при моделюванні дозволяє визначити загальний час обробки партій деталей та середню циклову продуктивність, що є актуальним для відносно невеликих партій деталей. Для цього в масив ТМОРП додається послідовність завершення роботи (ПЗР) – послідовність обслуговування РП з моменту закінчення заготовок на вході ГВК до отримання на виході останньої готової деталі [2]. Аналіз дій ПР з початку роботи ГВК до її завершення показав, що ТМОРП, який відповідає всій роботі ГВК, може бути побудований як упорядкований набір окремих ТМОРП, кожен з яких є ПВР, але для різного числа РП. Тому алгоритмічна реалізація побудови ТМОРП реалізована таким чином, що ПВВР та ПВР формуються як упорядкована сукупність ПВР, побудованих для кількості РП, що змінюється від двох до їх дійсного числа. Аналогічно будується ПЗР – шляхом послідовного виключення з розгляду тих РП, які остаточно звільнилися від обробки деталей, та додавання в ТМОРП відповідних ПВР аж до кількості РП,

рівної двом [2]. Прийняті правила дозволили використати один і той самий алгоритм як для формування ПВР, так і для ПВВР та ПЗР.

Опис програмної реалізації. Методика та алгоритми автоматизованої побудови ТМОРП реалізовані в програмному продукті, що дозволяє формувати ТМОРП для ГВК, що обслуговується одним ПР – одноруким одно- чи двоххватним, дворуким, одноруким з використанням ППЗ (одномісних, двомісних або таких, ємність яких – один або два місця – визначається необхідністю перевстановлень на певній РП). Також для кожної з можливих стратегій реалізовано ряд можливих способів реалізації перевстановлень, що в комбінації з кількістю стратегій налічує 22 способи побудови ТМОРП (при 52-х теоретично сформованих). Крім того, програма дозволяє виконувати імітаційне моделювання роботи ГВК, в результаті якого формується склад дій ПР (таблиця переходів), визначається циклова продуктивність ГВК, часи роботи та простоювань кожної одиниці ТО впродовж циклу та відповідні коефіцієнти використання та простоювання ТО. Можливим є виконання моделювання до закінчення роботи ГВК із визначенням часу обробки всієї партії деталей та середніх показників продуктивності за весь час роботи ГВК. Для цього була розроблена математична модель ГВК, відповідна методика та алгоритмічне забезпечення імітаційного моделювання [2].

Робота з програмою починається з введення вихідних даних на закладці структурних елементів (рис. 1). Необхідно задати кількість РП, обрати тип ПР, а також у випадку використання однорукого односхватного ПР – наявність (із вказанням ємності) або відсутність ППЗ. Також необхідно задати достатню кількість вихідних заготовок та відмітити в разі потреби моделювання обробки всієї партії деталей відповідний прапорець. Для заданої кількості РП може бути автоматично сформовано найпростіший ТМОД, що являє собою послідовність зростаючих номерів РП від першого до максимального без пропусків та повторень. Кількість РП теоретично (в математичній моделі) необмежена, програмна реалізація тестувалася для кількості РП, що дорівнює 100, що повністю покриває практичні потреби.

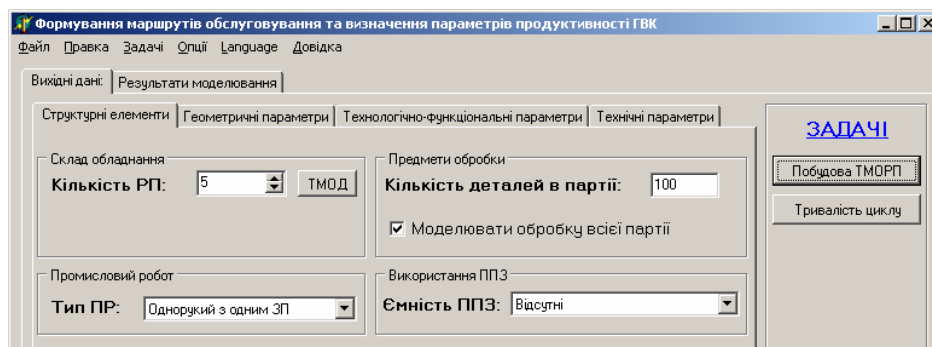


Рисунок 1 – Фрагмент екранної форми для закладки структурних параметрів

Далі на закладці технологічно-функціональних параметрів (рис. 2) необхідно відредагувати склад РП за операціями в ТМОД та обрати стратегію і спосіб реалізації перевстановлень серед наявної множини. Програма дозволяє задавати в ТМОД номери РП, на яких виконуються операції, в будь-якій необхідній послідовності, а також задавати необхідність виконання декількох груп операцій з декількох встановлень на певних РП шляхом повторних вказувань номерів даних РП. Обмеженням є прямоточність технологічних процесів (неможливість моделювання повертань на попередні РП), тобто обробка на всіх встановленнях на кожній РП має виконуватись послідовно. У випадку використання дворукого ПР також вказується спосіб реалізації обслуговування останньої РП, якщо їх загальна кількість є парною (на даний момент програмно реалізовано лише один такий спосіб – лівою рукою). Також для дворукого робота формується ТМОРП для кожної руки. При цьому елементи ТМОРП, які містять номери РП, що обслуговуються одночасно кожною з рук ПР, є взаємовідповідними, що

можна простежити, ввімкнувши представлення результату “сіткою” (кнопки на екранній формі). При побудові ТМОРП можна отримати таблицю з роз’ясненням кожної дії в ТМОРП, ввімкнувши відповідну опцію меню програми.

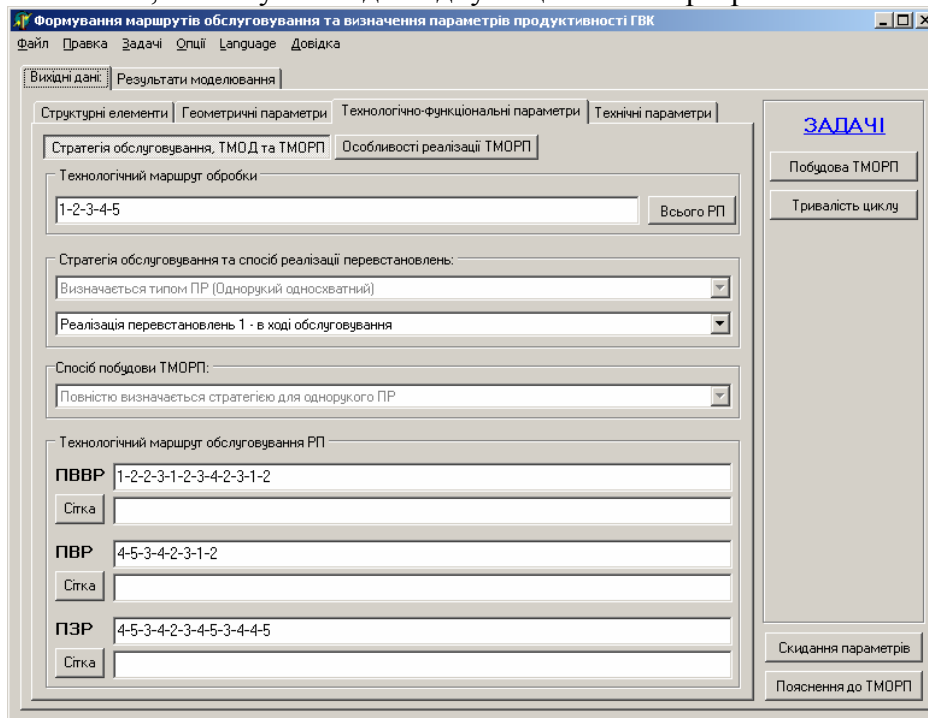


Рисунок 2 – Екранна форма для закладки технологічно-функціональних параметрів

При використанні дворукого ПР також попередньо необхідно задати порядок розташування обладнання на вкладці геометричних параметрів. Після цього необхідно натиснути кнопку «Побудова ТМОРП». Після побудови ТМОРП для моделювання необхідно задати часи відпрацювань рухів ПР та обробки на РП, далі натиснути кнопку «Тривалість циклу», в результаті чого буде побудована таблиця переходів ПР (рис. 3) та визначені параметри продуктивності ГВК (рис. 4). Таблиця переходів (або подій) ілюструє послідовність подій, що настають в імітаційній моделі ГВК в процесі моделювання: передачі деталі з ТО до ПР та навпаки, вхід/вихід ПР в/з робочої зони ТО, переміщення ПР між одиницями ТО, очікування промисловим роботом закінчення обробки на певних одиницях тощо. Всі події наочно представляються в таблиці подій разом з інформацією про їх моменти настання, тривалості та стани РП та ПР при цьому.

ТАБЛИЦЯ ПОДІЙ В ГВК															
ЧАСОВИЙ (КІЛЬКІСНИЙ) СТАН			СТАН ГОЛОВНИХ РП										СТАН ПР та ЗП		ЗМІСТ ОПЕРАЦІЇ
Поточний час	Запланована тривалість	Запланований час закінчення	Стан РП 1	Накопичений час роботи РП 1	Стан РП 2	Накопичений час роботи РП 2	Стан РП 3	Накопичений час роботи РП 3	Стан РП 4	Накопичений час роботи РП 4	Стан РП 5	Накопичений час роботи РП 5	Позиція руки	Стан ЗП РП	Для РП (зміст переходу)
2447	2	2449	0		500	4/3	51	3/4	113		0	2	5/1	5/1	Установчий рух ЗП РР із деталлю в РП 2
2449	2	2451	0		500	4/3	53	3/4	115		0	2	5/1	5/1	Затискання патрона в РП 2 та розтискання ЗП РР
2451	2	2453	0	5/1	500	4/3	55	3/4	117		0	2			Відведення ЗП РР від деталі в РП 2
2453	5	2458	0	5/1	500	4/3	57	3/4	119		0	2			Вихід ЗП РР з РЗ РП 2
2458	500	2958	0	5/2	0	4/3	62	3/4	124		0	2			Початок обробки на РП 2
2458	20	2478	0	5/2	0	4/3	62	3/4	124		0	2			Перемістись від РП 2 в нову позицію 4
2478	0	2478	0	5/2	20	4/3	82	3/4	144		0	4			Початок НОВОГО ПВР N=3 Попередній Тц = 604
2478	356	2834	0	5/2	20	4/3	82	3/4	144		0	4			ПР очікує РП 4
2834	5	2839	0	5/2	376	4/3	438	3/4	500		0	4			Вхід ЗП РР в РЗ РП 4
2839	2	2841	0	5/2	381	4/3	443	3/4	500		0	4			Підведення ЗП РР до деталі в РП 4
2841	2	2843	0	5/2	383	4/3	445	3/4	500		0	4			Затиск деталі в ЗП РР та розтиск патрона в РП 4
2843	2	2845	0	5/2	385	4/3	447		500		0	4	3/4		Зняття деталі з РП 4
2845	5	2850	0	5/2	387	4/3	449		500		0	4	3/4		Вихід ЗП РР з РЗ РП 4
2850	10	2860	0	5/2	392	4/3	454		500		0	4	3/4		Перемістись від РП 4 в нову позицію 5
2860	5	2865	0	5/2	402	4/3	464		500		0	5	3/4		Вхід ЗП РР в РЗ РП 5
2865	2	2867	0	5/2	407	4/3	469		500		0	5	3/4		Установчий рух ЗП РР із деталлю в РП 5
2867	2	2869	0	5/2	409	4/3	471		500		0	5	3/4		Затискання патрона в РП 5 та розтискання ЗП РР
2869	2	2871	0	5/2	411	4/3	473		500	3/4	0	5			Відведення ЗП РР від деталі в РП 5
2871	5	2876	0	5/2	413	4/3	475		500	3/4	0	5			Вихід ЗП РР з РЗ РП 5
2876	20	2896	0	5/2	418	4/3	480		500		0	5			Перемістись від РП 5 в нову позицію 3
2896	5	2901	0	5/2	438	4/3	500		500		0	3			Вхід ЗП РР в РЗ РП 3
2901	2	2903	0	5/2	443	4/3	500		500		0	3			Підведення ЗП РР до деталі в РП 3
2903	2	2905	0	5/2	445	4/3	500		500		0	3			Затиск деталі в ЗП РР та розтиск патрона в РП 3
2905	2	2907	0	5/2	447		500		500		0	3	4/3		Зняття деталі з РП 3
2907	5	2912	0	5/2	449		500		500		0	3	4/3		Вихід ЗП РР з РЗ РП 3

Рисунок 3 – Екранна форма фрагменту таблиці переходів ПР

Формування маршрутів обслуговування та визначення параметрів продуктивності ГВК

Файл Правка Задачі Опції Language Довідка

Вихідні дані: Результати моделювання

Розрахована тривалість циклу, час. од.: Час відпрацювання ПВВР, час. од.:

Розрахована циклова продуктивність, 1/(час. од.): Час відпрацювання ПЗР, час. од.:

Тривалість обробки партії деталей, час. од.:

Середня тривалість циклу, час. од.:

Середня циклова продуктивність, 1/(час. од.):

Показники циклового використання ПР

Сумарний час роботи: Сумарний час простоювання:

Коефіцієнт циклового використання: Коефіцієнт циклового простоювання:

Показники циклового використання РП

	РП 1	РП 2	РП 3	РП 4	РП 5
Час роботи	0	500	500	500	0
Час прост. без ОМ	595	95	95	95	604
Час прост. з ОМ	9	9	9	9	0
Сумарний час	604	604	604	604	604
Коеф. використання	0	0,827814569536424	0,827814569536424	0,827814569536424	0
Коеф. прост. без ОМ	0,985099337748344	0,157284768211921	0,157284768211921	0,157284768211921	1
Коеф. прост. з ОМ	0,014900662251655	0,014900662251655	0,014900662251655	0,014900662251655	0
Сумарний коеф.	1	1	1	1	1

За один цикл
За весь час роботи

Рисунок 4 – Екранна форма результатів моделювання

Висновки. Розроблена методика, алгоритмічне та програмне забезпечення дозволяють автоматично формувати ТМОРП для ГВК, що обслуговуються одноруким одно- або двоххватним ПР, дворуком ПР або одноруким односхватним ПР, що використовує ППЗ для транспортування деталей. Формування ТМОРП є основою для реалізації імітаційного моделювання роботи ГВК. Раніше розроблена математична модель ГВК, методика та алгоритмічне забезпечення імітаційного моделювання, що реалізовані в розробленій програмі разом з процедурами побудови ТМОРП, дозволяють виконувати моделювання роботи ГВК, формувати склад дій ПР при їх роботі та визначати параметри продуктивності ГВК, що проектуються, з метою відбору задовільних чи найкращих варіантів на певних етапах їх АП. Як показало моделювання,

продуктивність роботи ГВК для різних стратегій та реалізацій перевстановлень може відрізнятись в декілька разів. Отже, підтверджується доцільність пошуку оптимального варіанту обслуговування ТО в ГВК.

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. 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.
3. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Сачук І.В. Підвищення ефективності обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС при використанні позицій проміжкового зберігання // Вісник ЖДТУ. – 2006. – №1 (36) / Технічні науки. – С. 102–111.
4. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Сачук І.В. Стратегії обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС // Вісник ЖДТУ. – 2005. – №3 (34) / Технічні науки. – С. 66–75.
5. Козловский В.А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 216с.

Одержано 09.10.2008 р.