

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.

О.В. Підтиченко, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РТК ПРИ ЇХ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ

Розглянуто шляхи підвищення ефективності роботи обладнання в складі роботизованих технологічних комплексів (РТК) як потенційно можливі напрямки для автоматизованого пошуку оптимальних варіантів побудови РТК. Наведено підмножину задач, які доцільно вирішувати в рамках проблеми підвищення ефективності РТК.

Постановка проблеми. Загальною тенденцією сучасного машинобудування є інтенсифікація виробництва, неперервне скорочення життєвого циклу продукції, підвищення темпів виробництва, зростання номенклатури виробів та зменшення їх серійності. Особливо це характерно для найбільш прогресивних областей техніки, до яких зокрема відноситься машинобудування [4], [14], [23], [25]. В таких умовах ефективне виробництво є можливим за умови повсюдного використання гнучких виробничих систем (ГВС), техніко-виробничою основою яких є роботизовані технологічні комплекси (РТК) [1-6], [15], [17], [19], [21-23].

Особливості РТК як складної технічної системи вимагають обов'язкового застосування автоматизованого вирішення задач проектування РТК [1], [4], [6], [8], [20]. Багато підзадач проектування РТК успішно знаходять часткове чи повне вирішення у відповідних системах автоматизованого проектування (САПР) [8-13], [16], [18], [20], [24]. Разом з тим багато підзадач розглядаються в спрощених умовах, або їм не приділяється значна увага. Наприклад, серед таких задач є задачі прийняття рішень щодо доцільності використання засобів проміжного накопичення, зберігання та переорієнтації предмету обробки – стаціонарних та рухомих, включаючи позиції зберігання на промислових роботах (ПР), додаткові схвати або руки ПР тощо [4], [18], [21]. Разом з тим використання позицій проміжного зберігання (ППЗ) може суттєво зменшити втрати часу роботи ПР і, отже, підвищити продуктивність РТК. Використання багатопредметних РТК (із одночасною обробкою декількох різних виробів) та декількох ПР для обслуговування обладнання також надають комплексам високої гнучкості та забезпечують ефективне використання ПР [4].

Мета дослідження. Метою даної статті є аналіз літературних джерел та визначення на його основі перспективних напрямків розширення задач автоматизованого пошуку ефективних структур та планувань РТК, що проектуються.

Виклад основної частини. Одним з головних напрямків підвищення продуктивності РТК є скорочення простоювань основного технологічного обладнання (ОТО) в очікуванні предмету обробки. Простоювання ОТО пов'язані із обмеженими технологічними можливостями ПР, що використовується для обслуговування одночасно декількох одиниць обладнання в складі РТК. Через це до складу часу циклу обробки $T_{Ц}$ входить складова часу відпрацювання ПР переміщень, що не суміщений із роботою ОТО, – $T_{НС}$. Тому з метою зменшення $T_{Ц}$ мінімізують час $T_{НС}$ [1], [4], [17], [21-23], [25]. Це можна досягти наступними шляхами [4], [9], [25]:

- вибором оптимальної стратегії обслуговування ОТО;
- оптимальним розміщенням одиниць ОТО в складі РТК;
- використанням додаткових ППЗ;
- застосуванням двоххватних (багатохватних) та дворуких (багаторуких) ПР, які можна розглядати як частковий випадок рухомих ППЗ;
- використанням декількох ПР в РТК із декількома одиницями ОТО тощо.

Стратегія обслуговування одиниць обладнання роботом головним чином залежить від технологічного маршруту (ТМ) обробки, конструктивних особливостей ПР та складу РТК. Для найпростіших випадків (одного ПР в однопредметних РТК із ТМ послідовної обробки на одиницях ОТО за одне встановлення без застосування ППЗ) найбільш ефективні стратегії

обслуговування є відомими [2–6], [22], [23] і тому успішно враховані при вирішенні окремих задач автоматизації планування РТК [4], [9–13], [19], [20], [24], [25].

При введенні ППЗ в РТК або ускладненні постановки задачі проектування (за умов ускладненого ТМ обробки, реалізації одночасної обробки декількох виробів тощо) вибір найбільш ефективної стратегії обслуговування вже не є простою задачею, тому в таких умовах формувати стратегію обслуговування доцільно із застосуванням автоматизованих підходів [18], [20], [21], [25].

Така постановка задачі є актуальною, оскільки задача проектування природно ускладнюється, якщо ТМ обробки не є повністю збалансованим (тобто тривалості роботи окремих одиниць ОТО відрізняються), що, як правило, має місце в реальних технологічних процесах [1–4], [7], [18].

Траєкторія переміщення схвату ПР суттєвим чином залежить від порядку розташування одиниць ОТО в РТК, від якої, в свою чергу, залежить час циклу обробки $T_{Ц}$. Як відомо, мінімізація загальної довжини траєкторії переміщення схвату ПР є однією з головних передумов зменшення часу циклу $T_{Ц}$. Такий критерій побудови РТК має назву “мінімум довжини траєкторії переміщення” (МДТП) [4]. Крім того, конструктивні та технічні особливості ПР, що обирається при проектуванні РТК, залежать від вимог, що визначаються сукупністю точок, в яких має зупинитись захватний пристрій ПР при маніпулюванні виробом. Від цього залежать особливості відпрацювання тих чи інших координатних переміщень за ступенями рухомості (швидкість, що встановилась, розгінно-гальмівна характеристика тощо), складність системи управління та силових модулів ПР, на що часто накладаються жорсткі обмеження (в тому числі з боку граничної собівартості РТК). Тому, крім задачі мінімізації довжини траєкторії, розглядається задача побудови РТК таким чином, щоб досягти мінімуму точок позиціонування (МТП) за кожним окремим ступенем рухомості ПР [4], [9]. Ці два принципи є досить взаємосуперечливими, їх одночасне врахування являє собою очевидну проблему. Досить перспективним є поєднання критеріїв МДТП та МТП на певній, загалом не визначеній, компромісній основі. Такою основою може бути загальний економічний критерій оцінки використання спроектованого РТК [11], [21], [25].

Автоматизація планування РТК (вибір оптимального порядку розташування ОТО) при умові послідовного обходу предметом обробки одиниць ОТО за ТМ має успішне вирішення для односхватних ПР, а також дворуких та двоххватних ПР [9], [11–13], [24]. І все ж умови, при яких ТМ обробки передбачає повертання предмету обробки на попередні одиниці ОТО, розглянуті недостатньо.

Крім вищесказаного, на час циклу $T_{Ц}$ суттєвим чином впливають швидкісні характеристики переміщення схвату, що досягаються на тих чи інших ділянках траєкторії, на які, в свою чергу, впливає форма ділянок траєкторії та конструктивні особливості ПР, в тому числі і спосіб досягнення тих чи інших точок позиціонування. Врахування умов відпрацювання роботом координатних переміщень може певним чином корегувати попередні результати [9–13], тому вирішення цієї групи задач доцільно також включити в САПР РТК.

Для підвищення продуктивності ПР, що обслуговує декілька одиниць ОТО, також доцільно вводити ППЗ [1–7], які загалом виконують декілька функцій: дозволяють виконати пере захоплення деталі схватом за іншу поверхню; переорієнтацію деталі (що спрощує конструкцію схватів); реалізувати передачу деталі із схвату в схват між двома ПР; мінімізувати час обслуговування кожної окремої одиниці обладнання завдяки суттєвому скороченню переміщень біля даної одиниці ОТО при її завантаженні та розвантаженні; нарешті “згладжувати” певним чином нерівномірності тривалостей роботи окремих одиниць ОТО в РТК, викликані різним часом обробки, дозволяють застосовувати “гнучкі” стратегії обслуговування ОТО (непослідовного обслуговування – за вимогою ОТО) і мінімізувати вплив часу очікування роботом завершення обробки на певній одиниці ОТО на весь час $T_{Ц}$.

Застосування ППЗ, крім зазначених вище переваг, має недоліки, пов’язані із збільшенням габаритів РТК, а отже, і сумарної довжини траєкторій переміщення схвату ПР. Крім того, при застосуванні ППЗ має також враховуватись зміна собівартості проектованого РТК, а також обмеження, що накладаються на площу РТК [4], [22], [23].

Загалом за видом рухомості виділяють декілька типів ППЗ [4]:

- 1) нерухомі, що встановлені поруч з обладнанням або на ньому;

- 2) знаходяться на рухомій основі робота, що переміщується разом з рукою (малопоширений варіант);
- 3) у вигляді двох схватів, конструктивно виконаних на руці ПР нерухомо або на платформі, що обертається (дозволяє міняти схвати місцями);
- 4) у вигляді двох рук ПР із залежним або незалежним приводом;
- 5) на додатковій платформі, що рухається поступально або обертово по руці ПР.

Необхідно зазначити, що організації ППЗ за 3–5 типами відрізняються між собою лише траєкторіями та механізмами заміни схватів, що їх реалізують. Також відомо, що в системах з додатковими ППЗ обслуговування ОТО виконується від початку технологічного потоку обробки виробів до кінця, на відміну від системи без ППЗ, де ОТО обслуговується в оберненому порядку. Причому для системи з нерухомими ППЗ можливі й інші стратегії обслуговування обладнання [4].

Загалом існують певні орієнтовні рекомендації щодо вибору того чи іншого виду реалізації ППЗ [4], [14], [17–19]. Наприклад, найбільш ефективним методом скорочення $T_{Ц}$ є застосування ПР з двома жорстко закріпленими схватами або таких, що мають два схвати на рухомій платформі руки. Далі в порядку зменшення ефективності йдуть дворуки ПР та нерухомі ППЗ.

З іншого боку, застосування двохсхватних ПР з жорстко закріпленими схватами збільшує необхідну кількість точок позиціонування схвату на одну на кожну одиницю обладнання, що обслуговується. Застосування нерухомих ППЗ більш суттєво (на дві–чотири) збільшує їх кількість, при цьому збільшуючи габаритні розміри РТК. Застосування дворуких, двохсхватних ПР і особливо таких, що мають схвати на рухомій платформі, також ставить підвищені вимоги щодо вантажопідйомності ПР та створює додаткові навантаження на його приводи та механізми. Крім того, застосування дворуких та особливо двохсхватних ПР вимагає збільшених (в 1,2–3,5 рази) габаритів робочих зон обладнання, що обслуговується, що складно виконати при збільшених габаритах виробів. Тому при великих розмірах та масах виробів застосовують або РТК без ППЗ, або із нерухомими ППЗ [4].

Отже, через свою неоднозначність, на даному етапі задача автоматизації визначення необхідності застосування ППЗ та їх кількості вирішена недостатньо і потребує подальшої формалізації із наступною реалізацією в САПР РТК.

Часто для забезпечення функціонування РТК, крім ППЗ (що забезпечують тільки проміжне накопичення) вимагаються різноманітні допоміжні пристрої (сервісне обладнання), які забезпечують: масове завантаження заготовок, масове та поштучне зберігання, транспортування, базування та орієнтацію, і нарешті, поштучну видачу для захоплення промисловим роботом [1–8], [14], [17], [19], [21–23], [25]. Складність, функціональність (і відповідно вартість) сервісного обладнання складає певний баланс із відповідними показниками ПР, що застосовується в РТК. Досить часто допоміжне обладнання буває складніше і дорожче ПР (особливо найпростіших з цикловою системою керування) і навіть ОТО [4]. І все ж таки останнім часом набули широкого поширення ПР із розширеною функціональністю щодо взаємодії з навколишнім середовищем (завдяки застосуванню технічного зору, швидкодіючих алгоритмів розпізнавання образів, сучасної електроніки та розширенню маніпуляційних можливостей ПР) [7], [17], [23], [25]. Тому автоматизована оцінка доцільності застосування того чи іншого структурного елемента в РТК (і особливо вибір серед альтернативних за функціональністю варіантів) також представляє актуальну проблему.

Як відомо, взаємодія ПР із предметом обробки (об'єктом маніпулювання) виконується через робочий орган – захоплюючий пристрій (схват) [1], [4], [21–23], [25]. При цьому на маніпуляційні можливості робота суттєвим чином впливає конструкція застосованого схвату. Схват ПР, як і інші елементи підсистеми, що забезпечує маніпулювання (включаючи орієнтацію, базування і встановлення) виробом впродовж циклу обробки (маніпулятор ПР, засоби упорядкування середовища, технологічне оснащення тощо), є важливою частиною забезпечення необхідної функціональності РТК. Тому питання про застосування того чи іншого виду схвату (так само, наприклад, як і ППЗ) має вирішуватись на етапі проектування структури РТК і тому потребує розробки та реалізації в рамках загальної САПР РТК [23], [25].

У багатьох випадках, крім продуктивної роботи РТК, ставиться за мету забезпечення необхідних показників надійності та безвідмовності, що забезпечують неперервність виробництва. Необхідних показників можна досягти, виконуючи резервування чи дублювання

окремих одиниць обладнання (сервісного, ОТО і навіть ПР) в РТК [7], [25]. Базис для реалізації автоматизованого проектування РТК для таких випадків також розвинутий недостатньо і потребує відповідних подальших розробок.

Як відомо, в умовах роботизованого виробництва, що має серійний та дрібносерійний характер, реалізація технологічних процесів (ТП) механообробки виконується із застосуванням групових технологій [4–7], [17–23], тобто ТП проектується для певного узагальненого виробу, що об'єднує в собі певну групу конструктивно та технологічно схожих виробів. Тому ТП для групової технології в умовах гнучкого роботизованого виробництва реалізується за допомогою РТК, що має множину особливостей, що в цілому виражають необхідність проектування такого РТК, який би максимально задовольняв умовам реалізації не одного ТП, а цілого набору ТП. РТК, що проектується для таких вихідних умов, відрізняється особливою гнучкістю, проте для автоматизованого проектування РТК ці умови можна вважати особливо ускладненими, оскільки для кожного окремого ТП задіюється лише певна частина загальної функціональності елементів РТК або навіть окремі структурні елементи (зокрема із пропусками окремих одиниць ОТО). Треба зазначити, що автоматизоване проектування РТК для групових ТП вимагає розробки нових підходів, що враховують відповідні особливості реалізації саме гнучкого роботизованого виробництва. Вироблення загального критерію оцінки ефективності побудови РТК для множини автоматизованих ТП є окремою складною задачею, що також потребує вирішення для реалізації в САПР РТК.

Висновки. Таким чином, в результаті виконаного аналізу можна відмітити важливість розгляду задачі автоматизованого проектування РТК в наступних ускладнених умовах:

- виконання обробки виробів за декілька встановлень та/або із повторним проходженням окремих одиниць ОТО;
- застосування декількох ПР в одному РТК;
- введення в РТК нерухомих ППЗ;
- суміщення за часом обробки декількох виробів в одному РТК (багатопредметні РТК);
- розпаралелювання потоку обробки однотипних виробів на декількох ОТО з метою підвищення синхронності роботи всіх елементів РТК;
- використання резервних та дублюючих одиниць обладнання та систем в РТК;
- реалізації в рамках необхідного РТК групової технології обробки (декількох окремих ТП, можливо із суміщенням в часі роботи комплексу для підвищення завантаженості всього обладнання) тощо.

Отже, для підвищення ефективності РТК, що автоматизовано проектуються, доцільно ввести до відповідних САПР вирішення наступних задач:

- автоматизоване прийняття рішень щодо вибору структурних одиниць РТК на множині альтернативних реалізацій необхідної функціональності (наприклад, вибір реалізації ППЗ – нерухомі, у вигляді дворуких та двохватних ПР тощо);
- автоматизований пошук оптимальної стратегії обслуговування одиниць ОТО в ускладнених умовах;
- автоматизоване формування траєкторії переміщення схвату при застосуванні ППЗ в РТК;
- автоматизоване врахування умов відпрацювання роботом координатних переміщень по окремих ділянках траєкторії на показники продуктивності;
- автоматизоване визначення продуктивності РТК при введенні нерухомих ППЗ;
- автоматизована оцінка впливу застосування окремих елементів РТК на показники продуктивності;
- ефективне суміщення принципів побудови плану РТК за МТП та МДТП, а також автоматизована побудова траєкторії маніпулювання та визначення відповідних показників продуктивності при довільних (інтерактивних) варіаціях в розміщенні структурних елементів РТК;
- ефективна побудова РТК для оптимальної реалізації в ньому групового ТП тощо.

Розробка відповідного математичного та алгоритмічного базису із автоматизованою реалізацією перерахованих задач суттєво розширить функціональність вже існуючих елементів САПР РТК [9–13], [24], дозволить підвищити ефективність отримуваних рішень, а також виконувати моделювання РТК для більш широкого кола умов.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Андрианов Ю.Д., Бобриков Э.П., Гончаренко В.Н. Робототехника / Под ред. Е.П. Попова, Е.И. Юревича. – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.
2. Беянин П.Н. Робототехнические системы для машиностроения. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
3. Беянин П.Н., Идзон М.Ф., Жогин А.С. Гибкие производственные системы: Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
4. Бурдаков С. Ф. и др. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
5. Гавриш А.П., Ямпольский Л.С. Гибкие робототехнические системы: Уч. для студ. техн. вузов. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 407 с.
6. Давыгора В.Н. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Книга 13: ГПС для сборочных работ / Под ред. д.т.н., проф. Б.И. Черпакова. – М.: Вища шк., 1989. – 110 с.
7. Довбня Н.М., Кондратьев А.Н., Юревич Е.И. Роботизированные технологические комплексы в ГПС. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 303 с.
8. Домарацкий А.Н., Лескин А.А., Пономарев В.М. и др. Системное проектирование интегрированных производственных комплексов / Под общ. ред. д.т.н., проф. В.М. Пономарева. – Л.: Машиностроение, 1986. – 319 с.
9. 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.
10. Кирилович В.А., Сачук І.В. Автоматизоване формування множини технологічно-перспективних кінематичних структур при виборі агрегатно-модульних промислових роботів // Вісник ЖДТУ. – Т. 2 / Технічні науки. – 2003. – Вип. 2(26). – С. 81–88.
11. 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.
12. Кирилович В.А., Сачук І.В., Чевпотенко О.В. Автоматизоване визначення тривалості циклового переміщення схвату агрегатно-модульних промислових роботів: Матеріали 7-го Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодежь в XXI веке». – 22–24 апреля 2003. – Харьков. – С. 501.
13. Кирилович В.А., Сачук І.В., Чевпотенко О.В. Автоматизований розрахунок тривалості циклового переміщення схвату агрегатно-модульних промислових роботів // Системи обробки інформації. – Вип. 3. – Х.: ХВУ, 2003. – С. 45–51.
14. Козырев Ю.Г., Кудинов А.А., Булатов В.Э. и др. Роботизированные производственные комплексы / Под ред. Ю.Г. Козырева, А.А. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 270 с.
15. Костюк В.І., Спину Г.О., Ямпольський Л.С., Ткач М.М. Робототехніка: Підручник. – К.: Вища шк., 1994. – 447 с.
16. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
17. Медведев В.А., Вороненко В.П., Брюханов В.Н. и др. Технологические основы ГПС: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.
18. Меткин Н.П., Лапин М.С., Гольц В.И., Алексеев П.И.. Технологическая подготовка гибких автоматизированных сборочно-монтажных производств в приборостроении. – Л.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
19. Робототехнические системы в сборочном производстве: Уч. пос. для вузов / Под ред. Е.В. Пашкова. – К.: Вища шк., 1987. – 270 с.

20. Сольнищев Р.И., Кононюк А.Е., Кулаков Ф.М. Автоматизация проектирования гибких производственных систем / Под ред. Р.И. Сольнищева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ие, 1990. – 415 с.
21. Спину Г.О., Бернадський В.М., Даниленко О.В., Юмашев В.Є. Промислові роботи в машинобудуванні: Навч. посіб. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 128 с.
22. Справочник по промышленной робототехнике: В 2-х кн. / Под ред. Ш. Нофа; Пер. с англ. Д.Ф. Миронова и др. – М.: Машиностроение, 1989.
23. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
24. Ivahnenkov Y., Kyrylovych V., Sachuk I. Computer-aided determination of geometrical compatibility of aggregate-modular industrial robots and production machinery // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – № 196. – Mechanika. – z. 59. Materiały III Międzynarodowej konferencji Naukowo-Technicznej, Modułowe Technologie i konstrukcje w budowie maszyn. – МТК 2002. – Poland, Rzeszow, 2002. – S. 173–183.
25. Stadler W. Analytical robotics and mechatronics. – New York: San Francisco State University, McGraw-Hill, Inc. – 560 p.

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;
- автоматизація технологічних процесів.

Тел. д.: 38/0412-34-01-65.

E-mail: kiril_v@ziet.zhitomir.ua

ПІДТИЧЕНКО Олександр Владиславович – аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання, формалізація та складання математичних моделей.

Тел. д.: 38/0412-34-64-19.

E-mail: aikt_wm@usr.ziet.zhitomir.ua

Подано 30.10.2003