

**В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
Н.В. Легенька, магістрант
О.В. Підтиченко, аспір.**

Житомирський державний технологічний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ПЛАНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ГВС

Розглянуто доцільність застосування імітаційного моделювання при автоматизованому проектуванні гнучких виробничих систем (ГВС), зокрема при плануванні обладнання гнучких виробничих комірок (ГВК). Визначено перелік задач, які доцільно розв'язувати із залученням імітаційного моделювання. Розглянуто склад імітаційної моделі та методика моделювання роботи ГВК для визначення циклової продуктивності останніх.

Постановка проблеми. Загальними тенденціями сучасного машино- та приладобудування є зменшення серійності виробництва, збільшення номенклатури виробів та частоти зміни предметів виробництва [1, 2, 4, 5, 14, 17, 19–23]. Разом із необхідністю економічно ефективного використання виробничих ресурсів це обумовлює широке використання в галузях, що мають серійний характер, виробничих потужностей, які здатні легко адаптуватись до змін, викликаних умовами виробництва, тобто характеризуються технологічною гнучкістю [2, 4, 26, 27]. Тому в машино- та приладобудуванні актуальним є застосування так званих гнучких виробничих систем (ГВС), що передбачають використання роботизованих технологій. Відповідно одними зі складових виробничо-технологічної основи ГВС, що реалізують технологічні процеси механообробки, є гнучкі виробничі комірки (ГВК). Останні поєднують в собі основне (ОТО) та допоміжне (ДТО) технологічне обладнання, що формують робочі позиції (РП), а також промислові роботи, що виконують транспортування предметів виробництва – об'єктів маніпулювання (ОМ) між РП, виконуючи їх обслуговування [1–6, 15, 17, 22–28].

Особливості ГВК як складних технічних систем, що характеризуються багатоваріантною структурою (складом компонентів та їх сумісною організацією роботи), а також асинхронним характером функціонування із паралельними та взаємозалежними у часі процесами, які мають часові зсуви та затримки, призводять до необхідності автоматизованого вирішення задач проектування ГВК з метою отримання рішень, що мають необхідні або найкращі показники [3, 18, 21, 22]. Варто зазначити, що багато задач успішно знаходять часткове чи повне втілення у відповідних системах автоматизованого проектування [6, 10–13, 21, 22, 27–31]. З іншого боку, багатоваріантність проблеми проектування обумовлює складність повного аналізу всіх проектних можливостей, тому багато окремих підзадач навіть при автоматизованому проектуванні (АП) розглядаються в спрощених умовах або їм не приділяється значна увага.

Мета дослідження. Метою даної роботи є обґрунтування доцільності застосування математичного апарата імітаційного моделювання (ІМ) для розв'язання ряду задач, необхідних при АП ГВК, які враховують ускладнені вихідні умови та додаткові напрямки підвищення ефективності отримуваних рішень, що реалізовано у розробленій методиці ІМ роботи ГВК для визначення продуктивності останніх.

Аналіз попередніх розробок та існуючих літературних джерел. В попередніх роботах [7–9] авторами було проаналізовано ряд показників, що формують узагальнене поняття “ефективність використання” роботизованих технологічних комплексів (або ГВК – відповідно до сучасних стандартів). Серед технічних показників, що входять до інтегрованого поняття ефективності, є коефіцієнти завантаження одиниць обладнання (за тривалістю роботи), часові втрати на холості переміщення при роботі обладнання, циклова продуктивність ГВК (визначається тривалістю циклу їх роботи) тощо [3, 14, 25, 30, 31]. В процесі аналізу типових технічних рішень [1–5, 14, 15, 19–27, 30, 31], що дозволяють покращувати технічні показники ГВК, було систематизовано ряд так званих напрямків підвищення ефективності ГВК за ступенем використання в практиці проектування, зокрема при АП ГВК. Визначені напрямки, що дозволяють успішно виконувати АП ГВК, підвищуючи ефективність їх використання,

поділено на три категорії: “традиційні” (загальноприйняті), що мають очевидну доцільність для розгляду в процесі проектування ГВК і тому частково враховуються у програмних продуктах АП ГВК [6, 10–13, 21, 29]; “нетрадиційні взагалі” (додаткові), що мало поширені в практиці використання (але можуть певним чином врахувати особливості реальних виробничих умов); “нетрадиційні для АП”, що є загальноприйнятими у виробництві, проте недостатньо враховані в існуючих засобах АП ГВК.

До “традиційних”, наприклад, віднесено [3, 6, 11–13]:

- використання позицій проміжкового зберігання (ППЗ);
- застосування ПР з двома захватними пристроями (ЗП) та дворуких ПР;
- вибір оптимальної стратегії обслуговування РП;
- оптимальне розміщення РП в складі ГВК.

До “нетрадиційних взагалі” напрямків включено наступні [2, 3, 7–9, 19]:

- створення багатопредметних ГВК (одночасне суміщення декількох технологічних процесів);
- використання декількох ПР в складі ГВК;
- реалізацію паралельного виконання однакових технологічних дій на декількох одиницях обладнання (використання декількох одиниць ОТО для однієї операції).

Окремо зазначимо, що загальноприйнятим підходом при проектуванні роботизованих технологій є їх апріорна орієнтація на групову технологію [14, 17, 19–22, 25–28]. Проте методичне та математичне забезпечення для АП ГВК, що дозволяє враховувати групові технології, розроблені недостатньо. Тому реалізацію АП ГВК із апріорною орієнтацією на групові технологічні процеси віднесено до категорії напрямків, “нетрадиційних для АП”.

Треба відмітити, що ускладнення постановки задачі проектування ГВК за рахунок вищезазначених напрямків підвищення ефективності суттєво ускладнює її розв’язання в рамках АП ГВК. Аналіз деяких існуючих програмних розробок [6, 10–13, 21, 27–31] також показав, що врахування навіть загальноприйнятих напрямків при АП ГВК виконується зі значними обмеженнями або в спрощених умовах, що дещо звужено відтворює реальні виробничі об’єкти та процеси. Подальші дослідження показали, що успішне та повноцінне (за можливих ускладнень, обумовлених реальними виробничими умовами) врахування визначених напрямків з метою використання їх при АП ГВК може бути виконане із використанням математичного апарата ІМ, що був використаний для розв’язання задачі автоматизованого визначення тривалості циклу роботи ГВК, що є невід’ємною складовою методики [6, 10, 11, 21] АП ГВК на етапі пошуку оптимального планування РП.

Зазначимо, що під терміном “планування обладнання (або РП)” в контексті вищезазначеної методики АП ГВК розуміється комплекс задач, результатом виконання яких є визначене геометрично-просторове розміщення одиниць обладнання відносно ПР (точніше, множина можливих варіантів розміщення), а також вирішені питання організації сумісного функціонування РП та ПР (визначення стратегії обслуговування РП, вирішення траєкторних задач тощо) та розраховані параметри продуктивності сформованих рішень (зокрема тривалість циклу роботи ГВК) з метою вибору найкращих або задовільних варіантів.

Використаний математичний апарат ІМ дозволяє визначати тривалість циклу роботи ГВК шляхом моделювання (імітації) процесів, що відбуваються, власне, в циклі роботи ГВК. Причиною, що обумовила використання моделювання для визначення тривалості циклу, стали попередній теоретичний аналіз впливів співвідношень тривалостей роботи РП та відпрацювання переміщень ПР на наявність втрат часу в циклі роботи (очікувань закінчень роботи РП промисловим роботом чи навпаки – завершення відпрацювання рухів ПР), що впливають на величину тривалості циклу. Також було виявлено можливість взаємовпливів очікувань, що можуть змінюватись від початку роботи ГВК до моменту виходу на встановлений режим за часом (коли тривалість циклу є відносно сталою). Крім того, визначилась актуальність дослідження впливу тривалості процесу виходу на встановлений режим та процесу завершення роботи на середнє значення продуктивності, який, очевидно, є значним для невеликих партій деталей, що виготовляються на ГВК.

Сказане визначило актуальність і доцільність більш детального дослідження процесів роботи ГВК від її початку до закінчення за допомогою методу ІМ.

Необхідно відмітити, що математичний апарат ІМ має широке застосування для аналізу ГВС, зокрема для аналізу матеріальних потоків шляхом імітації їх руху (обробки,

транспортування, зберігання, обслуговування РП тощо) по обробних ресурсах (робочих позиціях) [4, 16, 17, 19, 22, 27]. Для цього імітується робота всіх елементів виробничої системи, які беруть участь у формуванні матеріальних потоків (ПР, ОТО, ДТО тощо). Ключовою основою ІМ є прогнозування подій та керування ними – визначення моменту та умови настання певної події та її подальшого впливу на систему. Функціонування системи, що моделюється, розглядається відповідно до ходу часу із збереженням за логікою її роботи послідовності подій та відповідних проміжків часу між ними. Існує відповідно два підходи до задавання часу, що відповідають принципу переходу до наступної ітерації моделювання – метод фіксованих інтервалів та метод кроку до наступної події. Відповідно ІМ виконується або в масштабі часу, або в масштабі подій [17]. Кожен метод при цьому може бути направлений на досягнення своїх специфічних цілей.

В результаті проведеного аналізу для вирішення розглянутих задач при АП ГВК обрано апарат ІМ як такий, що дозволяє описати дискретні стани системи, якою представляється ГВК, умови та процеси переходу між станами відповідно до функціонування кожного компонента та реалізації транспортних потоків у системі.

Виклад основної частини. Відповідно до вищезгаданої методики [6, 11, 21], на яку орієнтуються виконані розробки, одним із етапів АП ГВК є порівняльна оцінка можливих варіантів рішень, отриманих на етапі планування обладнання з метою відбору найкращих за технічним критерієм тривалості циклу роботи ГВК. Інакше кажучи, задача автоматизованого планування РП ГВК направлена на пошук оптимального серед усіх можливих (при інших рівних умовах) або задовільного (за умов використання інших критеріїв) варіанта геометрично-просторової організації (компонування) РП, що обслуговуються. Тому для кожного проектного варіанта вирішується задача розрахунку тривалості циклу роботи ГВК. Вирішення даної задачі із залученням методу ІМ дозволяють розглядати її в таких умовах, коли використання аналітичного розрахунку може представляти суттєві труднощі.

Необхідно відмітити, що на даний момент акцент в методичних підходах та програмних реалізаціях задачі автоматизованого планування ГВК зроблений в основному на оптимізацію на множині варіантів послідовностей розташування РП при попередньо обраній стратегії обслуговування [3, 6, 11–13]. Зазначимо, що стратегія обслуговування являє собою принцип, за яким за допомогою ПР реалізується переміщення всіх ОМ по РП згідно з технологічним маршрутом обробки деталі (ТМОД) [3, 6, 11, 21]. Очевидно, причиною врахування тільки однієї стратегії є розгляд відносно простих випадків, для яких найбільш ефективні стратегії обслуговування є очевидними і відомими, а саме для однопредметних ГВК, що обслуговуються одним ПР, із ТМОД послідовно на кожній РП за одне встановлення без застосування ППЗ. При введенні ППЗ в ГВК або ускладненні постановки задачі проектування (за умов ускладненого ТМОД – наприклад, обробки за декілька встановлень, при повторному проходженні окремих РП або їх пропусканні тощо) апріорний вибір найбільш ефективної стратегії обслуговування вже не є простою задачею. Крім того, реалізація стратегії обслуговування у вигляді послідовності РП, що обслуговуються ПР, у певних специфічних випадках (наприклад, для дворуких ПР) може бути неоднозначною. Тому в таких умовах доцільно виконувати оптимізаційний автоматизований пошук також на множині можливих варіантів стратегій обслуговування. Формування або вибір та порівняння можливих стратегій обслуговування також може бути виконане із залученням апарата ІМ.

Загалом математичний апарат ІМ може бути використаний в рамках автоматизованого планування РП при АП ГВК для розв'язання ряду розрахункових задач та дослідницьких цілей. Серед таких задач відмітимо:

- пошук оптимальних стратегій обслуговування та їх реалізацій у вигляді технологічного маршруту обслуговування РП (ТМОРП);
- перевірку на працездатність автоматично сформованих ТМОРП для ускладнених умов задачі АП ГВК (при наявності перевстановлень, використанні ППЗ тощо);
- визначення циклової продуктивності варіантів планування ГВК для ускладнених умов;
- аналіз втрат часу в циклі роботи ГВК та пошук додаткових технологічних можливостей виробничих систем;
- аналіз процесів виходу ГВК на встановлений режим (при завантаженні всіх РП) та завершення роботи із визначенням середніх показників продуктивності ГВК, що є актуальним для відносно невеликих партій деталей;

– нарешті, перевірку та відлагодження роботи спроектованих ГВК тощо.

Використання ІМ для розв'язання перерахованих задач вимагає попередньої розробки відповідної математичної (імітаційної) моделі, яка дозволяє описати стани одиниць обладнання, що входять в ГВК, та умови переходу між цими станами, а також інтегрується із структурами даних, що використовуються при автоматизованому плануванні РП в існуючих розробках.

Як було вказано вище, апарат ІМ було використано, в першу чергу, для розв'язання задачі автоматизованого визначення тривалості циклу роботи ГВК. Відповідно було розроблено імітаційну модель, що орієнтована на специфіку даної задачі, а також відповідне методичне та алгоритмічне забезпечення.

Визначення тривалості циклу реалізовано обома вищезгаданими методами – моделюванням в масштабі часу (для дослідницьких та відлагоджувальних цілей) та моделюванням в масштабі подій (для швидкого визначення циклової продуктивності при інтеграції в систему АП ГВК).

Методичне та алгоритмічне забезпечення орієнтоване на однопредметні багатостатні ГВК, що обслуговуються одним ПР без використання ППЗ. Моделювання циклу роботи передбачає відтворення у часі процесів обробки на РП та дій ПР, що передбачаються стратегією обслуговування РП. На основі обраної для певного проектного варіанту ГВК стратегії обслуговування та ТМОД попередньо має бути побудований ТМОРП, що задає необхідну послідовність дій ПР по обслуговуванню РП.

Змістовно автоматизоване визначення тривалості циклу роботи шляхом ІМ базується на наступних прийнятих положеннях. Послідовність РП, що обслуговуються ПР і періодично повторюються в циклі роботи ПР (коли всі одиниці ОТО є завантаженими і виконують обробку), названа послідовністю встановленого режиму за складом дій (або простіше – ПВР). Тривалість виконання дій ПР упродовж ПВР може не відразу бути сталою, тому може бути необхідним неодноразове повторення цієї послідовності до того, коли буде досягнутий встановлений режим за часом виконання – режим повторення ПВР за складом дій за однакові проміжки часу. Тоді тривалість відпрацювання цієї послідовності буде тривалістю циклу роботи ГВК. Сказане, а також те, що ГВК в контексті ІМ є системою, яка має передісторію (поточний стан визначається із врахуванням попередніх станів), обумовлює необхідність виконання ІМ від самого початку роботи ГВК.

Склад структур даних, що формують ядро розробленої імітаційної моделі, розглянемо в процесі аналізу методики ІМ роботи ГВК в масштабі подій, що проілюстрована на рис. 1.

Варто зазначити, що ІМ, яке відтворює роботу реального ГВК, формалізовано відображає процеси, що відбуваються в ГВК при реалізації в ньому певного технологічного процесу. Найбільш суттєвими для розглядуваної задачі параметрами, що описують функціонування компонентів ГВК, є:

- ТМОД $PTM[m]$ (описує рух предмета обробки – ОМ по РП, а отже, і функціонування задіяних РП);
- ТМОРП $STM[tm]$ (описує дії ПР, що забезпечують рух всіх задіяних в даний момент ОМ по РП), у випадку дворукого ПР – також $STM2[tm]$ (для другої руки).

Кожен елемент масиву ТМОД $PTM[m]$ відповідає операції або групі операцій, що виконуються на даній РП з одного встановлення і задається як номер РП, на якій виконується m -та операція. Також умовно (з міркувань зручності моделювання) першим та останнім елементом масиву ТМОД вважаються РП входу та виходу в/з ГВК, хоча на них операції обробки не виконуються. Кожен елемент масиву ТМОРП $STM[tm]$ відповідає РП, що обслуговується рукою ПР в порядку черги при виконанні tm -ої ітерації обслуговування в процесі роботи ГВК, тобто масив ТМОРП визначає склад глобальних рухів ПР в циклі роботи.

Крім того, склад операцій в ТМОД може задавати необхідність перевстановлень на даній РП. У свою чергу, такі операції, як перевстановлення та зміна ЗП (для двохсхватних ПР) можуть мати особливості реалізації, наприклад, ротація ЗП чи перевстановлення ОМ можуть потребувати виходу руки ПР з робочої зони РП. Для задавання особливостей реалізації перевстановлення та ротації ЗП використовуються масиви покажчиків “місця” їх виконання – відповідно $RS[m]$ та $ROT[m]$.

ТМОД, ТМОРП та масиви покажчиків місця перевстановлення та ротації ЗП становлять технологічно-функціональні параметри ГВК, що описують загальну технологічну функцію системи, тобто перелік того, що має виконуватись в ГВК.

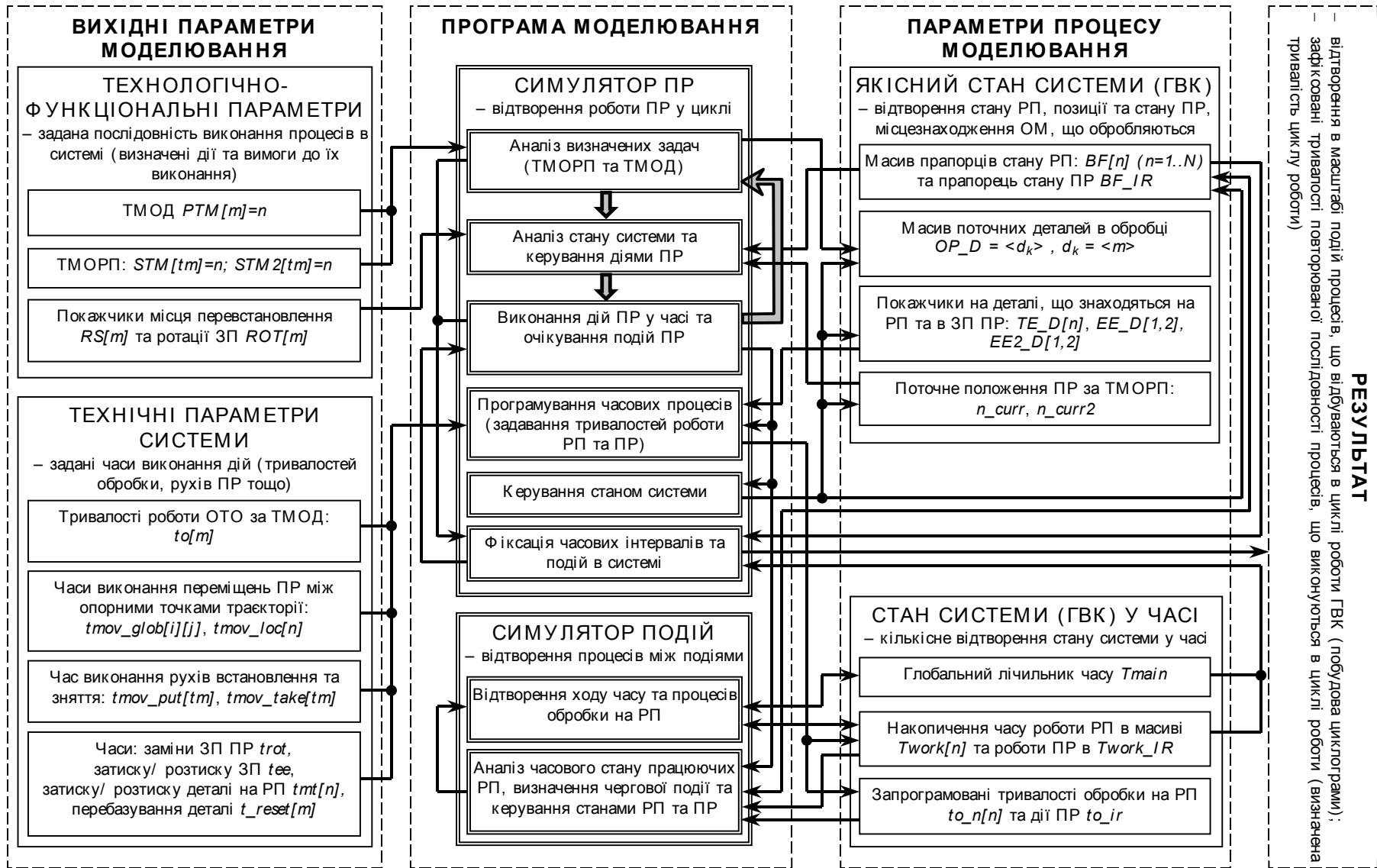


Рис. 1. Загальна схема методики ІМ роботи ГВК в масштабі подій

Те, як саме буде реалізовуватись ця функція, загалом визначається швидкодією (продуктивністю) окремих складових ГВК (елементів системи, що моделюється), а безпосередньо – співвідношенням часів виконання рухів ПР та тривалостей роботи РП. Швидкодія елементів системи відтворена у її технічних параметрах. Зважаючи на те, що точне визначення часів рухів ПР представляє собою окрему складну задачу, технічні параметри в даній задачі ІМ задаються як часи виконання тієї чи іншої дії, які вважаються вже відомими.

До технічних параметрів системи належать:

- тривалості роботи ОТО за ТМОД $to[m]$ (кожен елемент включає тривалості всіх операцій, що відповідають m -му елементу в ТМОД, включаючи всі необхідні допоміжні часи, і рівний часу, що проходить з моменту встановлення ОМ на РП до моменту, коли РП готова для зняття деталі);
- часи виконання переміщень ПР між опорними точками траєкторії: глобальні рухи – $tmov_glob[i][j]$, регіональні рухи – $tmov_loc[n]$ (задаються відносно номерів РП i, j, n в ГВК);
- часи виконання рухів встановлення ОМ та зняття після обробки: $tmov_put[tm]$, $tmov_take[tm]$ (задаються відносно точок ТМОП tm , оскільки залежать як від номера РП, так і від стадії обробки деталі);
- допоміжні часи: заміни ЗП ПР $trot$ (для двоххватних ПР), затиску/розтиску ЗП tee , затиску/розтиску деталі на РП $tmt[n]$, перебазування деталі $t_reset[m]$ (локальні рухи переорієнтації ЗП із ОМ).

Технологічно-функціональні та технічні параметри становлять множину вихідних параметрів моделювання.

Необхідно зазначити, що ТМОП містить послідовність номерів РП, але не містить даних про склад дій ПР на даній РП (тобто не вказує, яку саме операцію – розвантаження, завантаження, перевстановлення треба виконати). Для того, щоб в кожен момент часу можна було визначити необхідний склад дій ПР, передбачається опис складових ГВК відповідними параметрами стану, що використовуються в процесі моделювання (параметри процесу моделювання). Стан ГВК описується подвійно – якісно та кількісно. Якісний опис передбачає відтворення дискретних параметрів із скінченної множини можливих станів.

До параметрів якісного стану системи належать:

- масив прапорців стану РП $BF[n]$, що вказують значення “0” (РП вільна), “1” (РП працює), “2” (РП закінчила обробку);
- прапорець стану ПР BF_IR (тільки для моделювання в масштабі подій);
- масив поточних деталей в обробці OP_D , що містить перелік всіх ОМ, що знаходяться в обробці в ГВК, та вказує ступінь їх обробки (номери поточних операцій за ТМОД);
- масиви показників на деталі, що знаходяться на РП та в ЗП ПР $TE_D[n]$, $EE_D[1,2]$, $EE_D2[1,2]$ (для дворукого ПР), що слугують для опису місцезнаходження кожної одиниці ОМ, що міститься в OP_D ;
- показник поточного положення ПР n_curr , що вказує на номер РП, біля якої знаходиться в даний момент його ЗП (для дворукого – також n_curr2).

Якісні параметри змінюються дискретно в залежності від певних умов. Тому до параметрів кількісного стану ГВК відносяться параметри стану системи у часі, кількісні значення яких викликають зміни якісних параметрів системи.

Виділяються наступні параметри стану системи у часі (часові параметри):

- глобальний лічильник часу $Tmain$, який слугує для вимірювання тривалості циклу роботи ГВК і фіксації часів настання подій;
- задані тривалості обробки на РП $to_n[n]$, що визначають моменти часу, коли відповідні операції на РП вважаються завершеними (і змінюється стан РП);
- накопичені часи роботи РП $Twork[n]$, що, змінюючись від 0 до $to_n[n]$, відтворюють ступінь завершеності операцій на РП;
- задана тривалість дії (руху) ПР to_ir , що визначає момент часу, коли ПР звільниться (тільки для моделювання в масштабі подій);
- накопичений час роботи ПР $Twork_IR$, що, змінюючись від 0 до to_ir , відтворює ступінь завершеності руху ПР (тільки для моделювання в масштабі подій).

Процедури, що виконують моделювання, направлені на реалізацію двох задач. Перша (головна) – моделює роботу ПР та керує процесом обслуговування РП (завантаженням,

розвантаженням тощо, програмуючи відповідним чином стан РП). Друга (виконується при очікуванні певної події) – задача кроку до наступної події – виконує аналіз стану компонентів системи, визначає чергову подію та момент її настання, відповідно відтворює перехід до нього в часі для всіх компонентів, змінюючи кількісний та якісний стан системи.

Основний програмний цикл моделювання (показаний товстими стрілками) виконується за елементами масиву ТМОП $STM[tm]$ від першої до останньої точки обслуговування tm_end , після чого повторюється, але з точки tm_rep , що відповідає початку послідовності встановленого режиму. При цьому фіксуються часові інтервали від обслуговування точки tm_rep до обслуговування точки tm_end . При необхідності побудови циклограми ГВК при кожній зміні стану РП чи виконанні руху ПР виконується фіксація цієї події в часі. Сукупність всіх зафіксованих подій в часі формує циклограму роботи ГВК.

Для кожної чергової РП, що потребує обслуговування, виконується:

- аналіз відповідного елемента ТМОД, на основі чого визначається, що виконується – надходження нової деталі до обробки або лише міжопераційне транспортування ОМ;
- аналіз стану РП, що обслуговується.

При необхідності до масиву деталей в обробці OP_D додається новий елемент, для якого лічильник операцій обробки m встановлюється в 1. В подальшому, коли ОМ встановлюється на нові РП, m збільшується на 1. Це дозволяє відслідковувати проходження деталей за ТМОД і визначати, яка операція має бути виконана кожного разу, коли ОМ встановлюється на нову РП.

В залежності від стану поточної РП виконується керування діями ПР:

- завантаження РП, якщо вона є вільною;
- розвантаження РП, якщо на ній завершено технологічну дію на ОМ;
- очікування готовності РП до обслуговування (у випадку знаходження її в стані зайнятості), іншими словами – синхронізація елементів системи.

Кожен рух ПР, так само як і обробка на РП, відтворюється шляхом ініціалізації відповідних параметрів якісного (прапорців стану) та кількісного (тривалостей обробки чи дії ПР та накопиченого часу роботи) станів системи. Завершення дії відповідає зміні прапорця стану як результат досягнення в накопиченому часі роботи заданого значення тривалості обробки чи дії ПР.

Після виконання операції обслуговування в разі необхідності (неспівпадінні номерів РП за попередньою та поточною точками ТМОП) виконується переміщення ПР до іншої РП.

Кожного разу, коли очікується готовність певної РП чи закінчення виконання рухів ПР, викликається задача переходу між подіями (до тих пір, поки необхідна подія не відбудеться).

Дана методика покладена в основу алгоритму автоматизованого визначення тривалості циклу роботи ГВК шляхом ІМ. Алгоритмічне забезпечення дозволяє моделювати обслуговування ГВК одnorукиm одно- та двохсхватним або дворукиm ПР. Також передбачене моделювання обслуговування вказаними видами ПР при наявності кратних перевстановлень в ТМОД, що реалізуються обертальним рухом ЗП, в якому знаходиться деталь для перевстановлення.

Висновки.

1. Розглянута методика має перевагу перед методиками аналітичного розрахунку. На відміну від останніх, вона не потребує попереднього формування аналітичних залежностей впливу співвідношень часових параметрів ПР та РП на співвідношення станів останніх під час роботи, що є необхідним для розрахунку тривалості циклу. Ці співвідношення визначаються безпосередньо в процесі моделювання. Проте потребує при її реалізації попереднього аналізу та закладання принципів керування станами та подіями для кожного виду проектних умов.

2. Розглянута методика може виконувати розрахунок тривалості циклу із врахуванням однієї ускладненої умови – при наявності кратних перевстановлень на окремих РП.

3. Описана методика ІМ виконує моделювання роботи ГВК не тільки у встановленому режимі, а з початку роботи ГВК і до її завершення.

4. Два методи реалізації ІМ роботи ГВК дають можливість моделювання як в масштабі часу (із дискретною інкрементацією часу) – для дослідницьких та навчальних цілей, так і в масштабі подій (із переходом до наступної події) – для прискореного розрахунку тривалості циклу при АП ГВК.

5. Імітаційна модель, методичне та алгоритмічне забезпечення можуть бути відносно легко вдосконалені для розгляду інших, більш складних, проектних умов розглянутої задачі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Белянин П.Н.* Робототехнические системы для машиностроения. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
2. *Белянин П.Н., Идзон М.Ф., Жогин А.С.* Гибкие производственные системы: Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
3. *Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н.* Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
4. *Гавриш А.П., Ямпольский Л.С.* Гибкие робототехнические системы: Уч. для студ. техн. вузов. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 407 с.
5. *Довбня Н.М., Кондратьев А.Н., Юревич Е.И.* Роботизированные технологические комплексы в ППС. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 303 с.
6. *Гвахненков Ю.В., Кирилович В.А., Сачук І.В.* Автоматизоване формування траєкторії переміщення схвату агрегатно-модульних промислових роботів за мінімумом точок позиціонування // Вісник ЖІТІ / Технічні науки / Спеціальний випуск. – 2002. – С. 85–92.
7. *Кирилович В.А., Підтиченко О.В.* Імітаційне моделювання як основа визначення продуктивності гнучких виробничих систем // Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління // Матеріали 5-ої Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної конференції. – Харків, 2004. – С. 126–127.
8. *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. – No. 209. – Mechanics 62. – P. 209–216.
9. *Кирилович В.А., Підтиченко О.В.* Шляхи підвищення ефективності функціонування РТК при їх автоматизованому проектуванні // Вісник ЖДТУ. – 2003. – № 3 (27) / Технічні науки. – С. 16–21.
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 «Радиоэлектроника 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. *Кирилович В.А.* Технологія автоматизованого виробництва. Випуск 1. Практичні заняття: Навчально-методичний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 156 с.
15. *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.
16. *Колодницький М.М.* Елементи теорії САПР складних систем: Навч. посібник. – Житомир: ЖІТІ, 1999. – 512 с.
17. *Костюк В.І., Спину Г.О., Ямпольський Л.С., Ткач М.М.* Робототехніка: Підручник. – К.: Вища шк., 1994. – 447 с.
18. *Лищинский Л.Ю.* Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.

19. *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.
20. *Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н., Падун Б.С.* Технологическая подготовка гибких производственных систем / Под общ. ред. С.П. Митрофанова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд.-е, 1987. – 352 с.
21. *Сачук І.В.* Автоматизований вибір агрегатно-модульних промислових роботів для ГВС. – Дис. ... к.т.н.: 05.13.20 / НТУУ "КПІ". – К., 2005. – 227 с.
22. *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.
23. *Спину Г.О., Бернадський В.М., Даниленко О.В., Юмашев В.Є.* Промислові роботи в машинобудуванні: Навч. посіб. – Житомир.: ЖДТУ, 2003. –128 с.
24. *Спыну Г.А.* Промышленные роботы : Конструирование и применение /Под ред. д.т.н. В.И. Костюка. –К.: Вища шк., Головное изд-во, 1985. –176 с.
25. *Справочник по промышленной робототехнике: В 2-х кн. / Под ред. Ш. Нофа; Пер с англ. Д.Ф. Миронова и др. – М.: Машиностроение, 1989.*
26. *Ямпольский Л.С., Калинин О.М., Ткач М.М.* Гибкие автоматизированные производственные системы / Под ред. Л.С. Ямпольского. – К.: Техника, 1985. – 280 с.
27. *Ямпольський Л.С., Лавров О.А.* Штучний інтелект у плануванні та управлінні виробництвом: Підручник. – К.: Вища шк., 1995. – 255 с.
28. *Шахматур М.* Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
29. *Ivahnentov 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, Modulowe Technologie i konstrukcje w budowie maszyn. – MTK 2002. – Poland, Rzeszow, 2002. – S. 173–183.
30. *Keramas James G.* Robot technology fundamentals. – New York, Delmar Publishers, 1999. – 408 p.
31. *Stadler W.* Analytical robotics and mechatronics. – New York: San Francisco State University, McGraw-Hill, Inc., 1995. – 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;
- автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій.

Тел. д.: 38/0412-34-01-65, роб. 38/0412-24-14-17.

E-mail: kiril_v@ziet.zhitomir.ua

ЛЕГЕНЬКА Наталія Віталіївна – магістрант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- імітаційне моделювання робототехнічних систем.

Тел. д.: 38/0412-24-25-42.

E-mail: natkainv@rambler.ru

ПІДТИЧЕНКО Олександр Владиславович – аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання, формалізація і складання математичних моделей.

Тел. д.: 38/0412-34-64-19.

E-mail: stvwm@yandex.ru

Подано 31.03.2005

Кирилович В.А., Лёгенькая Н.В., Пидтыченко А.В. Имитационное моделирование в задачах планировки оборудования ГПС.

Кирилович В.А., Легенька Н.В., Підтиченко О.В. Імітаційне моделювання в задачах планування обладнання ГВС.

Kyrylovych V.A., Lehenka N.V., Pidtychenko A.V. The simulation in the tasks of FMS equipment planning.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Имитационное моделирование в задачах планировки оборудования ГПС / В.А. Кирилович, Н.В. Лёгенькая, А.В. Пидтыченко

Рассмотрено целесообразность применения имитационного моделирования при автоматизированном проектировании гибких производственных систем (ГПС), в частности при планировке оборудования гибких производственных ячеек (ГПЯ). Определено перечень задач, которые целесообразно решать с применением имитационного моделирования. Рассмотрено состав имитационной модели и методику моделирования работы ГПЯ для определения цикловой продуктивности последних.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Імітаційне моделювання в задачах планування обладнання ГВС / В.А. Кирилович, Н.В. Легенька, О.В. Підтиченко

Розглянуто доцільність застосування імітаційного моделювання при автоматизованому проектуванні гнучких виробничих систем (ГВС), зокрема при плануванні обладнання роботизованих технологічних комплексів (ГВК). Визначено перелік задач, що доцільно вирішувати із залученням імітаційного моделювання. Розглянуто склад імітаційної моделі та методику моделювання роботи ГВК для визначення циклової продуктивності останніх.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

The simulation in the tasks of FMS equipment planning / V.A. Kyrylovych, N.V. Lehenka, A.V. Pidtychenko

The advisability of simulation application in the computer-aided design of Flexible Manufacturing Systems (FMS) is considered, particularly at the equipment planning of Flexible Manufacturing Cells (FMC). The list of tasks that are advisable to be solved with the application of simulation is determined. The composition of the simulation model and the FMC simulation methodics for the determination of FMC cycle productivity are considered.