

УДК 621.923

Н.С. Григор'єва*Луцький національний технічний університет***ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Особливостями моделювання автоматизованого виробництва деталей є точний алгоритмічний опис усіх процесів, які відбуваються в просторі та часі. До них відноситься опис об'єктів виробництва, їх технологічних процесів виготовлення, переналагодження, уніфікації, а також оцінка адекватності моделі.

Ключові слова: автоматизація, виробництво, деталь, виріб, моделювання, адекватність.

Форм. 1. Літ. 8.

Н.С. Григорьева**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Особенностями моделирования автоматизированного изготовления деталей является точное алгоритмическое описание всех процессов, происходящих в пространстве и во времени. К ним относится описание объектов производства, их технологических процессов изготовления, переналадки, унификации, а также оценка адекватности модели.

Ключевые слова: автоматизация, производство, деталь, изделие, моделирование, адекватность.

N. Grigoryeva**PECULIARITY MODELING OF AUTOMATED PRODUCTION**

Particularity of simulation-aided manufacture of parts is the exact algorithm description of all the processes occurring in space and time. These include a description of the production object, and their technological processes of making and unification, as well as evaluation adequacy model.

Keywords: automation, production, component, article, modeling, adequacy.

Постановка проблеми. Будь-які значні досягнення автоматизованого виробництва неможливі без проведення моделювання при його розробці. Обладнання такого виробництва є запорукою майбутніх досягнень, які створюють автоматизовані виробничі системи, що дозволять комплексно вирішувати складні проблеми, зв'язані з підвищенням ефективності виробництва. Для досягнення оптимальних техніко-економічних показників функціонування системи гнучкого виробництва необхідне проведення моделювання процесу з послідовним визначенням структури та його оптимальних параметрів. Найбільш ефективним методом розкриття суті є програмне моделювання на комп'ютері, котре дозволяє з високим ступенем адекватності виявити і оцінити сукупності зв'язків і обмежень. Суть такого моделювання полягає у використанні програм, які алгоритмічно описують виробничий процес виготовлення деталей, одержання достовірних характеристик, що задовольняють вибраному критерію оцінки ефективності процесу.

Проблематика ефективного моделювання виробничих процесів ще далеко не сформована, але потреби сучасного виробництва вимагають її рішення. Така система є найбільш складною як за кількістю потоків різних інгредієнтів, так і їх складності та взаємовпливу. Вона також відноситься і до великих систем, оскільки має контролювати і керувати значною кількістю об'єктів. Виробнича система є багатofункційною динамічною, тобто багаторівневою ієрархічною структурою, а в своєму складі має ще ряд взаємопов'язаних підсистем, що в додатку до всього ще й реалізують таку властивість, як переналагодження.

В основі розвитку майбутнього виробництва є комп'ютерно-інтегроване (СІМ), котре тепер вважається принципово новим напрямком в промисловості, і тому є найактуальнішою народногосподарською проблемою сучасного виробництва. Таке виробництво найбільш повно відповідає швидкій зміні номенклатури виробів. В модульному виробництві головним завданням є формування складальних модулів, які творять універсальну модульну складальну систему.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В основу моделювання покладені відомі методи моделювання складних систем [1, 2, 3, 4], що представляють собою значний теоретичний доробок багатьох вчених різних областей знань. В останні роки видано велику кількість наукових робіт, присвячених моделюванню автоматизованих виробничих систем (АВС). Це роботи Гусева А.А., Волчкевича Л.І., Дашенка А.І., Клусова І.А., Лебедовського М.С., Коппа В.Я., Малова А.Н., Пальчевського Б.А., Федотова А.І., Ямпольського Л.С., Джоа Д.Д., Хартлі Дж. і багатьох інших.

Застосовують різні методи моделювання, які характеризуються деякою множиною допустимих для них станів і забезпечують ефективне функціонування автоматизованого виробництва. Кращі результати дає застосування теорії графів [5] з використанням вершин і дуг

діаграм переходів. Графічно структура функціональних відношень задається у вигляді мережі вершин. Опис проводиться за допомогою мережі Петрі. Такі моделі є необхідними при дослідженні конкретних ситуацій, а окремі функції елементів моделі подаються в термінах операцій перетворення за допомогою орієнтованих графів можливих зв'язків між визначеними вершинами. Моделі складаються з окремих блоків (технологічного обладнання, керування, процесів виготовлення тощо). Не дивлячись на це ще багато питань залишаються не вирішеними.

Метою статті є розкриття механізму моделювання автоматизованого виробництва та опису завдань досягнення оптимальних рішень.

Виклад основного матеріалу. Оскільки метою розробки моделі виробничих процесів є формування структури виробничої системи зі своїми підсистемами, що сприятиме розвитку та впровадженню в виробництво сучасної потрібної системи з інноваційними рішеннями, які передбачають суттєве підвищення показників якості технологічних процесів виготовлення різних виробів. При цьому основними цілями та завданнями можна вважати:

- визначення пріоритетних напрямків розвитку виробничих процесів;
- проведення аналізу науково-технічної бази моделювання та розроблення пропозицій щодо її удосконалення для приведення у відповідність до можливостей та вимог сучасного виробництва;
- розробка методики побудови таких моделей та оцінка їх ефективності;
- розроблення рекомендацій щодо черговості проведення робіт з врахуванням вимог ринку щодо конкурентності виробів.

Програмне моделювання є одним з найбільш ефективних методів дослідження виробничих процесів виготовлення різнотипних деталей виробів. Суть моделювання полягає в побудові блочних програм моделі, що алгоритмічно описують зміну положення деталей під час їх автоматичного виготовлення, отримання адекватних характеристик, які задовольняють вимоги вибраному критерію ефективності процесу. Цільовим призначенням програмного моделювання є аналіз на комп'ютері можливих ситуацій, які виникають при автоматичному виготовленні деталей з метою прийняття оптимальних технічно та економічно обґрунтованих рішень.

Програмну модель автоматичного виготовлення можна представити системою функцій, рядом обмежень. При такому підході програмна модель відображатиме сутність виробничого процесу, тобто зміну просторових положень різнотипних деталей шляхом визначення та суміщення векторів, які характеризують просторове розміщення елементів системи по найкоротшій траєкторії за допомогою трьох лінійних рухів в нерухомій системі координат і трьох обертань в рухомій при заданих обмеженнях даного виробничого процесу. Така модель складатиметься з окремих блоків за елементами виробничих технологічних операцій.

Проектування технологічних процесів виготовлення деталей завдання досить складне і ще більше ускладнюється, коли технологічний процес має бути складним, до того ж і оптимальним. Найбільш повно таке завдання вирішується у випадку автоматичного проектування в САПР ТП, коли питання формування оптимального варіанту технологічного процесу вирішується поетапно [4]. Сучасні такі виробничі системи складаються з підсистем: конструкційно-технологічного та вартісного аналізу (групування виробів та їх аналіз), проектування технологічних процесів, організації та управління технологічною підготовкою виробництва. До автоматизованого проектування технологічних процесів пред'являється ряд вимог [4], виконання яких направлене на поліпшення якості процесу. Найбільший техніко-економічний ефект забезпечує комплекс автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва. Ефективність такого проектування технологічних процесів досягається за рахунок забезпечення системності розробки на основі встановлення характеру та взаємозв'язку чинників, які зумовлюють побудову складального процесу, структурної та параметричної оптимізації, раціонального поєднання типових і індивідуальних рішень, рівня типізації, уніфікації та стандартизації.

Відомо, що математичне оптимізаційне моделювання є найбільш ефективним методом дослідження технологічних процесів виготовлення деталей, котрий дозволяє правильно оцінити кількісні та якісні закономірності, виявити сукупності зв'язків і обмежень, отримати найбільш точну динамічну, часову та вартісну характеристики. Математична модель забезпечує можливість розробки на високому рівні конструкційно-технологічних рішень, які представляють собою нелінійну систему рівнянь і обмежень, що описують взаємозв'язок вхідних і вихідних параметрів. Проблема оптимізації технологічного процесу виготовлення деталей полягає в одночасному забезпеченні значної кількості взаємозв'язаних геометричних технологічних параметрів, які повністю взаємозв'язаними не можуть бути врахованими. В практиці найбільш розповсюдженими

є прості однокритеріальні моделі, в яких отримання конструкційно-технологічного рішення зводиться до математичної задачі визначення на допустимій множині необхідного сполучення параметрів, що забезпечують екстремальне значення функції мети. Оскільки об'єкти виробництва в дійсності є багатоцільовими, то така модель не дозволяє формалізувати найважливіші їх властивості і вибрати дійсно оптимальний варіант. Тому для більшої точності при розробках автоматизованих виробничих систем краще застосовувати багатокритеріальні та багатопараметричні оптимізаційні моделі, що дозволяють враховувати різноманітні умови функціонування та завдання, котрі виконуються при зміні деталей, декілька критеріїв функції мети, складність виробничої системи, яка скомпонована з ряду блоків, які виконують окремі, але взаємопов'язані завдання.

При розгляді виробничої системи як багатоцільової, вводиться зовнішня множина параметрів, стратегій, областей спеціалізації, досягнутих значень параметрів і вектор ефективності [6]. Одноцільова виробнича модель представляється нелінійною системою рівнянь і обмежень, що описують взаємозв'язок вхідних і вихідних величин. Критерії ефективності представляються як $K = F(k_i, n_j)$, де k_i, n_j – відповідно контрольовані та неконтрольовані величини. Визначення оптимального варіанту конструкційно-технологічного рішення зводиться до скалярної задачі оптимізації показника $F(k_i, n_j)$ на допустимій множині Y при фіксованому значенні вектора X

$$F_{\min}(k_i, n_j) = \min F(x, y) = \text{Const}, y \in Y. \quad (1)$$

Математична модель багатоцільової виробничої системи передбачає впровадження зовнішньої множини стратегій, областей спеціалізації з заданими векторними функціями і ефективностями. Завдання оптимізації багатоцільової системи при заданні відповідних вхідних величин, що характеризують дане рішення, полягає в виборі характеристик розподільчої функції та стратегії, оптимальних з точки зору мінімізації вектора ефективності для цілої системи. Тут виділяються три завдання: оптимального розподілення (задані зовнішня множина завдань і стратегія, визначається оптимальна розподільча функція), оптимізації стратегії (задані зовнішня множина завдань і елементи стратегії) та загальної оптимізації (задана лише зовнішня множина, визначається оптимальна стратегія та розподільча функція). Для реалізації такого підходу відомі математичні методи та алгоритми оптимізації, побудовані на діленні зовнішньої множини завдань на області спеціалізації та врахування показника ефективності системи [6].

Одним з методів встановлення черговості виконання технологічних робіт є використання теорії графів [5], в основі якого лежать дві матриці: матриця деталей та їх з'єднань, а також обмеження. Алгоритм черговості виконання технологічних операцій та переходів в головному передбачає вибір базових деталей, методів і способів виготовлення, окреслення потрібного технологічного обладнання та оснащення, розчленування робіт по виготовленню, формування технологічних переходів, операцій, маршруту. Підставовим при цьому виступає побудова графа-дерева можливих варіантів виготовлення [4,6].

Для визначення черговості переходів і операцій може бути використана методика автоматизованого синтезу послідовно-паралельного виготовлення виробів [7], яка складається з ряду моделей, що описуються матрицями. В основу закладений принцип зворотного проектування, при якому виконується формування допустимих конструкцією послідовностей розробки з виявленням обмеженого числа технологічно обґрунтованих порядків виготовлення. До характерних особливостей методики відноситься можливість визначення послідовності складання, що обумовлене поліноміальною залежністю процесу формування та аналізу матриць простору переміщень від числа деталей, аналіз допустимих конструкцією вузла варіантів послідовності складання, які відповідають заданим обмеженням, шляхом скреслення недоцільних варіантів на початку синтезу, повна автоматизація вводу даних просторового положення деталей та представлення результату виконання процедур синтезу в вигляді мережних графіків, як вихідної інформації для подальшого проектування технологічних складальних процесів. Висока якість цієї методики досягається використанням на початку синтезу всіх можливих, допустимих конструкцією варіантів, їх аналізом і оцінкою на відповідність загальним технологічним закономірностям складального процесу.

На підставі використання розроблених вже методів моделювання, можна сформулювати основні правила побудови гнучкого технологічного процесу складання різнотипних деталей для комплексного складання об'єкту:

- аналіз схем базування деталей для групи складальних вузлів, виробів;
- розробка схем групової наладки складального обладнання та оснащення, корегування групи;
- формування технологічних операцій складання;
- розробка маршрутів гнучких технологічних процесів.

Одним з важливих завдань автоматизованого виробництва є моделювання процесів переналагодження технологічного обладнання та оснащення, котра характеризується великим розмаїттям і в залежності від завдань, що вирішуються, підрозділяється на конструкторський, технологічний, організаційний та економічний взаємопов'язані напрямки. До конструкторського напрямку відноситься проектування як виробу, так і технологічного обладнання та оснащення з точки зору легкості переналагодження. Такі роботи поки що відсутні. В технологічному напрямку розглядається вплив технологічних чинників на переналагодження технологічних процесів. Очевидно, що найбільша увага приділяється вибору та створенню переналагоджуваних елементів технологічних процесів. Хоча в літературі наводяться чисельні приклади конкретних переналагоджуваних елементів, прив'язаних до даного технологічного обладнання, вони носять непов'язаний фрагментний характер без теоретичних узагальнень їх проектування. Методика конструкційно-технологічного формування переналагоджуваних елементів повинна базуватися на основах переналагоджуваного виробництва. Процес переналагодження є тісно пов'язаним як з змінними об'єктами виготовлення, так і з окремими елементами операції та навколишнім технологічним середовищем. Переналагодження повинно бути завжди технічно та економічно обґрунтованим.

В загальному, безпосередніми первинними причинами переналагодження є зміна конструкційних форм деталей і виробів, їх розмірів та властивостей, способу виготовлення, структури технологічної операції, технологічного обладнання та оснащення, організації виготовлення, окремих елементів управління виробничим процесом, зміна програми випуску, техніко-економічних показників. Встановлення кількісних і якісних величин потрібних змін вважається підставовим завданням переналагодження. При цьому суттєве значення має час і кошти переналагодження.

Переналагодження технологічного обладнання та оснащення може здійснюватися одним з наступних способів. Перший випадок охоплює застосування універсального обладнання, яке має можливість виконувати різноманітні обробні рухи по закладеній програмі типу обробних центрів. Набір рухів частіше буває обмеженим, а переналагодження досягається простою заміною програми виготовлення. У другому випадку використовується регулювання окремих елементів технологічного обладнання та оснащення, тобто їх переміщення в потрібне місце при зміні деталей. Обладнання чи оснащення повинні мати регульовальні механізми. В наступному випадку використовується заміна окремих елементів такого обладнання та оснащення. В практиці очевидно можливе одночасне використання вказаних випадків в залежності від їх техніко-економічного обґрунтування. Складність кожного переналагодження повністю обумовлюється специфікою виконання елементу технологічної операції для групи об'єктів складання.

Суттєвим є також моделювання уніфікації конструкцій виробів і їх деталей. Основною метою уніфікації є зменшення різноманіття елементів автоматизованої виробничої системи, а частковою метою – зведення розмаїття виробів, вузлів, деталей, конструкційних елементів, технологічних процесів, матеріалів і документації до раціонального мінімуму [7]. Уніфікація розглядається як процес і метод підвищення ефективності виготовлення, конструювання, технологічних розробок, підвищення якості виробів, встановлення раціональної номенклатури об'єктів, забезпечення їх взаємозамінності, сумісності. При автоматизованому виготовленні уніфікуються такі об'єкти як: конструкції виробів, переналагоджуваного технологічного обладнання та оснащення, технологія виготовлення. Кінцевою метою уніфікації є технологічний переналагоджувальний процес і розмірно-параметричні ряди деталей виробів, переналагоджуваного обладнання та спорядження.

Встановлення типорозмірного ряду об'єкту уніфікації за відомою методикою [5,6] вимагає визначення функції попиту, котра показує потребу в них з різними значеннями параметрів, величину загальних витрат, що встановлюють зв'язок між їх параметрами і затратами на розроблення, підготовку виробництва, виробництво та експлуатацію [7]. Далі необхідно підібрати математичний метод, алгоритм і встановити оптимальний типорозмірний ряд об'єкту уніфікації. Оскільки тепер відсутні, або неповні дані про попит різних виробів, а тим більше про їх проектування, виробництво та експлуатацію, що впливає на адекватність моделі, то моделювання

процесу уніфікації конструкторсько-технологічних об'єктів матиме більше теоретично-методичне значення для наступних уніфікацій. Функції попиту відносяться до основної первинної інформації встановлення оптимальних типорозмірних рядів і найбільше розповсюдження знаходять в вигляді середньозважених, відповідно, арифметичного чи геометричного значення, але це необхідна робота в найближчому майбутньому.

Одержані математичні моделі підлягають оцінці адекватності, тобто перевірці її відповідності реальним умовам процесів автоматизованого виробництва за допомогою методів математичної статистики. Таку відповідність можна досліджувати по-різному, використовуючи різні критерії. За критерієм Стюдента [8] така відповідність оцінюватиметься виразом $K_s = |b_k|/S(b)$, де K_s - тестова величина $k^{2\alpha}$ коефіцієнту регресії; b_k - коефіцієнт регресії; $S(b)$ – стандартне відхилення коефіцієнту регресії. Отримана величина порівнюється з критичною величиною тесту Стюдента для рівняння вірогідності та степенів свободи. Якщо ця величина є більшою від критичної, то вплив коефіцієнту регресії, що аналізується, на вихідний чинник є суттєвим і його не можна опустити в математичній моделі. В протилежному випадку – вплив вважається неістотним і його можна поминути. Для таких обрахунків відоме програмне забезпечення. Для оцінки адекватності моделі можна використати критерій Фішера [8]. Оцінка адекватності полягає також на порівнянні величин тестових з величиною критичною F_{kr} . Якщо одержана величина менша критичної, то математична модель є адекватною для встановлених меж величин вхідних чинників.

Оцінку адекватності моделей гнучкого модульного складання можна виконати на підставі порівняння величин вхідних і вихідних чинників, одержаних з теоретичного чисельного розрахунку величин чинників з аналітичними експериментальними величинами, тобто за величиною похибки. Мінімальність похибки дозволяє стверджувати про адекватність аналізованої моделі. В представлених моделях можливі випадки, коли необхідно оцінити окремі залежності між вхідними і вихідними чинниками, які не виражаються аналітично. Для прикладу проводилась перевірка побудованих моделей на їх адекватність, що може бути підставою рекомендації їх використання у виробництві.

Висновки. Можна зробити наступні висновки. Особливості процесів автоматизованого виготовлення різнотипних деталей визначаються: матеріальними, енергетичними і інформаційними потоками, властивостями оброблюваних деталей та їх групуванням, способами переналагодження та виготовлення, параметрами виготовлення, техніко-економічними показниками. Моделювання процесів переналагодження технологічного обладнання та оснащення полягає в зміні просторового розташування оброблюваних деталей. При цьому абстрагується від зовнішньої форми складаних деталей, а також базувальних поверхонь. В загальному перед моделюванням будь-яких процесів виготовлення деталей слід провести пошук відомих і добре опрацьованих моделей з їх програмним забезпеченням, які можуть бути рекомендованими для використання. І лише при їх відсутності, або недостатній точності можна ставити завдання про розробку нової моделі, яка безумовно повинна мати переваги перед відомими. Суттєвим є також моделювання уніфікації виробів і їх деталей, основною метою якої є зменшення різноманіття елементів автоматизованої виробничої системи, а частковою метою – зведення розмаїття виробів, вузлів, деталей, конструкційних елементів, технологічних процесів, матеріалів і документації до раціонального мінімуму, що має велике народногосподарське значення. Оцінку адекватності моделей автоматизованого виробництва можна виконати на підставі порівняння величин вхідних і вихідних чинників за критеріями Стюдента чи Фішера або інших.

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. -355 с.
2. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов. - М.: Высшая школа, 1985. 271 с.
3. Гиг Дж. Ван. Прикладная общая теория систем: Пер.с англ. -М.: Мир, 1981. -733 с.
4. Божидарнік В.В. Технологія виготовлення деталей виробів: [навч.посіб.] / В. В. Божидарнік, Н. С. Григор'єва, В. А. Шабайкович. –Луцьк: Надстир'я, 2006. -590 с.: іл.
5. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: [монографія] / Наталія Сергіївна Григор'єва. – Луцьк: Надстир'я, - 2008. –520 с.: іл.
6. Ямпольський Л. С. Гнучкі комп'ютеризовані системи проектування, моделювання, управління: [підручник] / Л. С. Ямпольський і інші. - Житомир, ЖДТУ, 2005. - 680 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. Т.Ш-3 / А.М. Дальский и др. / Под общ. ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2002. – 840 с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1988. – 720 с.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2015.