

8. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. -К.:Вища школа, 1993. -413 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. 4 –е изд. -М.: Машиностроение, 1985.-656с.

<p>Лапа М.В. Програмний інструментарій для автоматизованого заповнення нечіткої бази технологічних знань підприємства Розглядається програмний модуль Production_Fuzzy_rules, що дозволяє автоматизувати процес заповнення нечіткої бази технологічних знань підприємства для вибору методів обробки поверхонь деталей приладів.</p>	<p>Lapa M. The software tools for the automated infill of the fuzzy technological knowledge base of the enterprise At work state at the programming module Production_Fuzzy_rules, which allow introduce automation the infill of the fuzzy technological knowledge base of the enterprise for choice of the methods of surfaced job of the detail instruments</p>
---	---

*Надійшла до редакції
21 червня 2006 року*

УДК 621.91:519.711

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНОГО МЕТОДУ

Вислоух С.П., Піпко А.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Розглянуті питання вибору методів моделювання та оптимізації завантаження обладнання виробничих систем довільної структури. Встановлено, що для моделювання роботи виробничої системи доцільно використовувати структурно-логічний метод і для оптимізації завантаження її обладнання – метод гілок і меж. Розроблено автоматизовану систему, що реалізує вказані методи моделювання та оптимізації, наведено приклад використання автоматизованої системи

Вступ

Розробка методів моделювання та оптимізації роботи виробничих систем є перспективною науково-технічною задачею. Вона має велике значення, оскільки практичне застосування оптимізаційних методів для створення оптимальної структури виробничої системи дозволить зменшити витрати на виробництво, а отже знизити собівартість виготовлення виробів, не вкладаючи значних коштів в переоснащення обладнання, розробку технологічного оснащення тощо. Поряд з вдосконаленням технологічних процесів та матеріально-технічної бази, оптимальне завантаження обладнання виробничої системи дозволяє суттєво зменшити час виготовлення виробів за рахунок мінімізації простою обладнання. Отже, оптимізація завантаження технологічного обладнання є актуальною проблемою в сучасному приладобудуванні. Ця проблема вирішується шляхом мо-

делювання роботи виробничої системи. Над вирішенням цієї проблеми працювали Тамм Б.Г. [1], Бусленко Н.П. [2], Эгліт Я.Я. [3], Лебідь Р.Д. [4], Комарова Т. В. [5], Левін В.І. [6] та інші. Нажаль, на сьогоднішній день не існує якоїсь однієї методики моделювання виробничих систем в цілому, тобто таких, які б адекватно і з достатньою точністю описували б параметри виробничих систем різної структури. Тому для моделювання роботи систем конкретного виду застосовують різні математичні моделі.

Постановка задачі досліджень

Виробнича система є визначеною множиною блоків (елементів), об'єднаних деякою множиною зв'язків для реалізації загальної мети. У системах обслуговування цією метою є виконання заданої множини робіт. Кожна робота складається з деякої кількості різноманітних операцій, виконуваних відповідними блоками. Система в цілому забезпечує послідовне проходження кожної роботи через визначені блоки, сукупність операцій в яких і забезпечує виконання даної роботи. Вважаємо, що операція є найменшою, неподільною частиною роботи. У зв'язку з цим, при дослідженні систем масового обслуговування кількісні характеристики (параметри) операцій повинні бути задані. Ці параметри можна задати матрицею $A = \|a_{i,j}\|$, де $a_{i,j}$ – кількісний ефект виконання i -ї операції в j -й роботі. Величини $a_{i,j}$ – можуть означати або витрати часу ресурсів, або прибуток тощо. Конкретний зміст цих величин впливає на формулювання задач вивчення систем. Через параметри $a_{i,j}$ виражаються кількісні характеристики системи масового обслуговування в цілому [6].

Для кількісної оцінки ступеня досягнення довільною системою поставленою перед нею мети вводять різні характеристики її функціонування. Кожна окрема характеристика оцінює якусь одну сторону функціонування системи, і лише всі разом вони дозволяють оцінити, наскільки система досягла поставлених цілей.

Вивчення будь-якої реальної системи проводиться на моделі, що є собою більш простою системою, ніж початкова, зі збереженням її істотних рис. Математична модель безпосередньо виробничої або технологічної системи описується таким чином. Є деяка множина виробів B , які необхідно виготовити, і деяка множина одиниць технологічного устаткування (верстатів) M , а також робітників для виготовлення цих виробів. Кожен виріб характеризується своїм технологічним маршрутом, тобто послідовністю проходження визначеної підмножини M , що приводить до одержання готового виробу. Система в даному випадку є сукупністю множин B і M , а її мета – виготовлення усіх виробів з множини B . При цьому верстати є блоками системи, а різноманітні вироби – роботами, що підлягають виконанню в даній системі. Технологічний маршрут виробу є упорядкованою множиною операцій, з якої складається процес виготовлення цього виробу. Кожна операція виконується на окремому верстаті (окремим блоком). Ефект виконання операції вимірюється необхідними для цього часом, ви-

тратами тощо. Усі верстати зі зв'язками між ними утворюють структуру системи. Направлений зв'язок між двома верстатами показує, що після виконання операції на одному із них може виконуватися операція на іншому. Функціонування системи полягає в прокладці маршрутів у її структурі, відповідно до заданих технологічних маршрутів виготовлення окремих виробів, і погодженому проходженні за визначеними маршрутами всіх виробів до їхнього повного виготовлення.

Задача структурного моделювання виробничої системи та оптимізації її параметрів полягає в тому, щоб дослідити математичний апарат, який би адекватно описував структуру виробничої системи і давав би можливість алгоритмізувати процедури розрахунку найважливіших параметрів цієї системи. Зазвичай при детальному розгляді, ця проблема розпадається на декілька підзадач:

- а) проаналізувати роботу виробничого обладнання за різними структурами й дослідити особливості моделювання кожної із них;
- б) вибрати методику моделювання роботи обладнання виробничої системи, яка б якнайбільш повно описувала параметри системи та дозволяла б отримати її адекватну модель;
- в) вибрати метод оптимізації роботи обладнання, який би задовольняв заданим обмеженням та мав би по можливості якнайкращу збіжність.

Моделювання та оптимізація роботи виробничих систем

Класифікація систем має за мету по можливості уніфікувати кількісні характеристики систем, задачі їхнього вивчення і методи вирішення цих задач. В основу класифікації систем можуть бути покладені різні ознаки, тому в тут розглянуто лише деякі із них, а саме структури детермінованих систем масового обслуговування.

Виробничі системи в залежності від умов конкретного виробництва можуть мати послідовну, паралельну, паралельно-послідовну або послідовно-паралельну структуру, а у випадку передбаченого повернення готового виробу для виправлення браку – структуру системи зі зворотними зв'язками. Таким чином, виробничі системи в приладо- та машинобудуванні можуть мати найрізноманітнішу структуру.

Схема роботи системи взагалі має дуже велике значення для її коректного моделювання, оскільки найчастіше методи математичного моделювання здатні адекватно описати тільки одну, певну структуру і не прийнятні для моделювання інших.

Структурна оптимізація технологічних систем, створюваних на базі виробничого устаткування, пов'язана з варіюванням їх компонентів: типами й варіантами виготовлення виробів, типами, послідовністю й варіантами концентрації технологічних операцій. Кожен варіант системи формується з елементів $w_g, g = \overline{1, G}$, показники яких f_{og} мають різні значення для реалізації $w_g = \overline{1, W_g}$. Сукупність елементів w_g і взаємозв'язок між ними характеризують структуру

технологічної системи, а задача оптимізації полягає у виборі на множині комбінацій елементів w_g варіанта s^* , що є оптимальним в сенсі заданих техніко-економічних вимог $F_i^*, i = \overline{1, I}$ [7].

Можливості зміни перерахованих компонентів визначаються розмаїттям двох множин і зв'язків між ними:

– об'єктів виробництва (ОВ)

$$R \subset \times \{r_j : j \in J\},$$

де $r_j = \overline{1, R_j}$ – множини номерів об'єктів виробництва j -го найменування; J – множина індексів найменувань об'єктів виробництва;

– технологічних операцій (ТО)

$$V \subset \times \{v_t : t \in T\},$$

де $v_t = \overline{1, V_t}$ – множина номерів технологічних операцій t -го найменування; T – множина індексів найменувань технологічних операцій.

Таким чином, структура технологічної системи є сукупністю елементів $r_i \in R, v_t \in V$ і взаємозв'язків між ними. Технологічну систему (ТС) у цьому випадку зручно розглядати у вигляді відношення на непустій множині об'єктів виробництва та технологічних операцій

$$S \subset R \times V.$$

Елементами множини S є пари векторів r, v

$$s_l = (r, v), s_l \in S, l = \overline{1, L}.$$

Тут

$$r = (r_1, \dots, r_j, \dots, r_l), j = \overline{1, J}, r_j = \overline{1, R_j};$$

$$v = (v_1, \dots, v_t, \dots, v_T), t = \overline{1, T}, v(t) = \overline{1, V_t}.$$

Позначимо спільну пару елементів $(r_j, v_t) = w_g, g = \overline{1, G}$.

Тоді

$$s_l = (w_1, \dots, w_g, \dots, w_G), l = \overline{1, L},$$

де $w_g = \overline{1, W_g}, g = \overline{1, G}$ – елементи технологічної системи; L – загальна кількість варіантів технологічної системи.

Технологічні системи, що використовуються при виготовленні деталей приладів та їх складанні, відносяться до дискретних систем, тому для моделювання та оптимізації їх роботи треба застосовувати відповідні методи.

В методах дослідження виробничих систем можна виділити два основних напрямки: загальна (абстрактна) теорія систем [8], що вивчає поведження системи поза зв'язком з її структурою, як співвідношення входів і виходів, та структурна теорія систем [4, 9], що вивчає функціонування системи в залежності від її структури. Можливість побудови детерміністської теорії систем обслуговування на базі математичного апарату нескінченнозначної логіки (НЛ) и логічних визначників (ЛВ) вперше була показана в [5], де розв'язувалась задача синтезу одного класу статичних систем. Згодом була показана можливість застосу-

вання зазначеного апарата до синтезу інших класів систем, а також до їх аналізу [5, 10].

Переваги апарата НЛ и ЛВ реалізуються в рамках структурно-логічного підходу до вивчення систем обслуговування, що припускає структурне представлення досліджуваної системи і вираження її характеристик через характеристики підсистем за допомогою НЛ та ЛВ.

Структурно-логічний метод не має більшості вад інших методів моделювання та оптимізації роботи виробничих систем, тобто він прийнятний з точки зору наочності представлення системи та проведення розрахунків її параметрів, досить просто піддається формалізації, має добру збіжність при застосуванні відповідних методів оптимізації, а також, що найголовніше, придатний для моделювання систем з різними типами структур, а саме: послідовної, паралельної, паралельно-послідовної та послідовно-паралельної. Даний підхід дає можливість на основі незначної кількості подібних алгоритмів проводити розрахунок, аналіз та синтез оптимальної структури виробничої системи. Математичний апарат нескінченнозначної логіки (НЛ) може слугувати адекватним засобом опису детермінованих систем обслуговування. Ця адекватність виявляється в тому, що для довільної системи будь-яку характеристику функціонування звичайно можна виразити через параметри системи за допомогою логічних операцій НЛ (доповнених іноді звичайним алгебраїчним додаванням). При цьому формально розходження між характеристиками зводиться до того, що одні з них одержують прості вирази (що містять мало зазначених операцій), а інші – складні (оскільки містять багато операцій). Використовуючи розроблені в НЛ правила еквівалентних логічних перетворень, отримане вираження характеристики функціонування завжди можна привести до того чи іншого зручного виду. Цей вид залежить від розв'язуваної системної задачі. Так, для розв'язання задачі розрахунку системи найбільш зручним є мінімальне вираження характеристики, що містить найменшу можливу кількість логічних і інших операцій; для розв'язання задачі аналізу – вираження характеристики з виділеним параметром, вплив якого на систему аналізується; для розв'язання задачі синтезу – вираження характеристики у формі, чутливої до зміни порядку виконання робіт у системі. Ця можливість гнучкого представлення різних характеристик функціонування систем у термінах операцій НЛ відкриває принципову можливість однакового, заснованого на правилах еквівалентних логічних перетворень НЛ, розв'язання всього комплексу задач дослідження систем – розрахунку, аналізу, синтезу [5].

З метою моделювання та оптимізації завантаження виробничих технологічних систем розроблено автоматизовану систему на основі структурно-логічного підходу дослідження складних систем.

При розробці програмного забезпечення автоматизованої системи використано об'єктно орієнтовану мову програмування DELPHI. Програма складається з одного модуля Mod_opt_SL та файлу проекту Mod_opt_SL.exe. Даний модуль відповідає за всі дії програми, тобто введення початкових даних в систему для

моделювання та оптимізації завантаження верстатів виробничої системи, безпосереднє моделювання та оптимізацію, а також виведення одержаних результатів. Він містить чотири процедури (TfrmPochatok, EnterMatrix, TfrmPochatok.Showing, recurs та change) та дві функції (max та fact). Структурну схему програмного забезпечення системи наведено на рис. 1, а вікна введення початкових даних та виведення результатів проектування подано відповідно на рис. 2 та рис. 3.

Як приклад використання розробленої системи виконано моделювання та оптимізацію завантаження технологічного обладнання при виготовленні деталі типу «Корпус». В якості початкової інформації при виконанні розрахунків роботи системи використано технологічний маршрут виготовлення цієї деталі та час виконання окремих технологічних операцій. Цей технологічний маршрут складався з 17 токарних та 6 універсально фрезерних операцій, 2 фрезерних операцій з ЧПК та 10 свердлильних операцій. Кількість деталей в партії становила 150 шт.

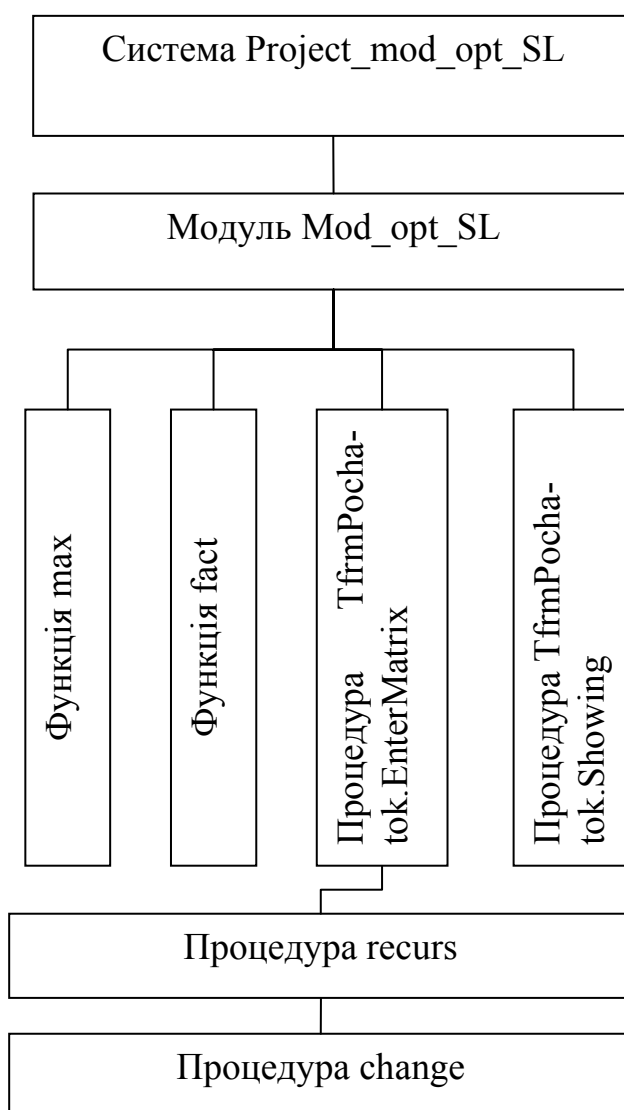


Рис. 1. Структурна схема програмного забезпечення системи.

Для визначення ефекту оптимізації завантаження обладнання спочатку виконано розрахунок часу обробки партії деталей при реальній (послідовній) структурі виробничої системи, а потім – на основі використання паралельно-послідовної структури виробничої системи.

В результаті практичного випробування створеної системи математичного моделювання та оптимізації завантаження технологічного обладнання виробничих систем отримано такі результати:

- 1) виробничий цикл обробки партії деталей при реальній структурі виробничої системи склав 1273,00 хв.;
- 2) виробничий цикл обробки партії деталей при використанні паралельно-послідовної структури виробничої системи складає 1006,29 хв.;
- 3) загальний час обробки партії деталей типу „Корпус” скоротився на 21%.



Рис. 2. Вікно введення початкових

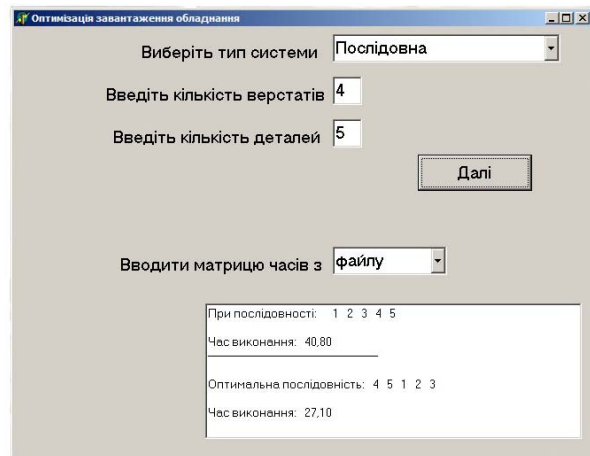


Рис. 3. Вікно з результатами проектування даних.

Висновки

Отже, використання структурно-логічного підходу до моделювання та оптимізації виробничих систем має такі переваги:

а) уніфікація за допомогою логічних визначників обчислювальних процедур при дослідженні систем призводить до того, що всі задачі розрахунку й аналізу, а також синтезу складних систем зводяться до обчислення тих або інших ЛВ, тобто є однотипними з обчислювально-математичної точки зору;

б) отримання аналітичних умов оптимальності порядку робіт у системі та на їх основі – процедури синтезу деяких класів складних систем мають зменшену складність обчислень;

в) модифікація процедури гілок і меж, яка застосовується в задачах синтезу складних систем з метою підвищення її точності і швидкодії, дозволяє інтенсифікувати відсікання безперспективних варіантів шляхом додаткового використання інформації, яка міститься в умовах оптимальності, та отримати за допомогою ЛВ більш точних оцінок, й до того ж вона має меншу обчислювальну складність;

г) розроблена система математичного моделювання виробничих систем та оптимізації її параметрів, що реалізує структурно-логічний метод, дозволяє автоматизувати процес виконання розрахунків і таким чином вибрати оптимальну структуру виробничої системи та її параметри на стадії технологічної підготовки виробництва;

д) запропоновану методику моделювання роботи виробничих систем і оптимізації її параметрів й створену на цій основі автоматизовану систему виконання розрахунків доцільно використовувати в комплексних системах автоматизації технологічної підготовки виробництва в приладо- та машинобудуванні.

Література

1. Тамм Б.Г. и др. Анализ и моделирование производственных систем / Б.Г. Тамм, М.Э. Пуусепп, Р.Р. Таваст; Под общ. ред. Б.Г. Тамма. – М.: Финансы и статистика, 1987.– 191 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. –399 с.
3. Эглит Я.Я. Имитационное моделирование сложных систем. Обзор. Рига, ЛатНИИНТИ, 1980.– 43 с.
4. Лебідь Р.Д., Жуков І.А., Гузій М.М. Математичні методи в моделюванні систем: Навчальний посібник. – К.: КМУЦА, 2000.– 158 с.
5. Комарова Т. В. Моделирование и оптимизация технологических систем: Учеб. пособие/; Нижегород. гос. техн. ун-т. Н.Новгород, 1999.– 227 с.
6. Левин В.И. Математические методы в технической кибернетике. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1981. – 74 с.
7. Фролов В. Н., Львович Я. Е., Меткин Н. П. Автоматизированное проектирование технологических процессов и систем производства РЭС: Учеб. Пособие для вузов по спец. „Конструирование и технология радиоэлектронных средств” – М.: Высш. шк., 1991. – 463с.
8. Вунш Г. Теория систем. – М.: Советское радио, 1978. – 288 с.
9. Советов Б.Я. Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
10. Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

Выслоух С.П., Пипко А.В. **Моделирование и оптимизация загрузки оборудования производственных систем с использованием структурно-логического метода.**

Рассмотрены вопросы выбора методов моделирования и оптимизации загрузки оборудования производственных систем произвольной структуры. Установлено, что для моделирования работы производственной системы целесообразно использовать структурно-логический метод и для оптимизации загрузки ее оборудования – метод ветвей и границ. Разработано автоматизированную систему, которая реализует указанные методы моделирования и оптимизации, приведено пример использования автоматизированной системы.

Vyslouh S., Pipko A. **Manufacturing systems equipment loading optimization and modeling with the usage of structural logic method.**

The questions of random structure manufacturing systems equipment loading optimization and modeling methods choice are considered. There is determined, that structural logic method can be advisable used for the manufacturing system work modeling and method of branches and borders for its equipment loading optimization. It is developed automatic system, which realizes showed methods modeling and optimization, example of automatic system usage is given.

Надійшла до редакції
26 вересня 2007 року