

**Materiały
V Międzynarodowej Konferencji
Naukowo – Technicznej**

**MODUŁOWE TECHNOLOGIE
I KONSTRUKCJE
W BUDOWIE MASZYN**

MECHANIKA z. 76

Organizatorzy V Międzynarodowej Konferencji Naukowo – Technicznej
MODUŁOWE TECHNOLOGIE I KONSTRUKCJE W BUDOWIE MASZYN MTK'09

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej
Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skałnego w Warszawie
przy współpracy
Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej
Akademia Inżynierska w Polsce
Wojskowa Akademia Techniczna Warszawa
Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
Moskiewski Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja
Akademia Projektowania i Technologii, Kijów, Ukraina
Połocki Uniwersytet Techniczny, Nowopołock, Białoruś
Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska
Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska
Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, Polska

Komitet Naukowo – Programowy Konferencji

Prof. dr hab. inż. Jan Żurek, Politechnika Poznańska, przewodniczący
Prof. dr hab. inż. Józef Bednarczyk, Politechnika Krakowska
Prof. dr hab. inż. Michaił Chejfec, Uniwersytet Połocki, Nowopołock, Białoruś
Dr inż. Stefan Góralczyk, IMBIGS Warszawa, Polska
Prof. dr hab. inż. Mikulas Hajduk, Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
Prof. dr hab. inż. Jerzy Honczarenko, Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska
Prof. dr hab. inż. Walery Kirilowicz, Instytut Inżynierii – Techniczny, Żytomierz, Ukraina
Prof. dr hab. inż. Jurij Kuzniecowa, Politechnika Kijowska, Kijów, Ukraina
Prof. dr hab. inż. Wołodimir Lubimow, Politechnika Rzeszowska, Polska
Prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski, Politechnika Rzeszowska
Prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus, Politechnika Rzeszowska
Prof. dr hab. inż. Jarosław Sęp, Politechnika Rzeszowska, Polska
Prof. dr hab. inż. Feliks Stachowicz, Politechnika Rzeszowska
Doc. hab. inż. Jerzy Stós, Instytut Zaawansowanych Technologii, Kraków, Polska
Prof. dr hab. inż. Aleksander Streubel, Politechnika Wrocławska, Polska
Prof. dr hab. inż. Walery Szewiel, Politechnika Rzeszowska, Polska
Prof. dr hab. inż. Władimir Timiriazew, Uniwersytet Technologiczny STANKIN Moskwa, Rosja
Prof. dr hab. inż. Krzysztof Tubielewicz, Politechnika Częstochowska, Polska
Prof. dr hab. inż. Łukasz Węsierski, Politechnika Rzeszowska, Polska
Prof. dr hab. inż. Władimir Woronienko, Uniwersytet Technologiczny STANKIN Moskwa, Rosja
Prof. dr hab. inż. Anatolij Zenkin, Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina

Komitet Organizacyjny Konferencji

Prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski, Politechnika Rzeszowska - przewodniczący
Mgr inż. Ryszard Świerkowski – IMBIGS Warszawa – z -ca przewodniczącego
Mgr inż. Kazimierz Rychlik – IMBIGS Warszawa
Mgr inż. Małgorzata Barańska – IMBIGS Warszawa
Dr inż. Dorota Stadnicka, Politechnika Rzeszowska – sekretarz
Dr inż. Katarzyna Antosz, Politechnika Rzeszowska
Dr inż. Barbara Ciecierska

Redaktor Naukowy

Prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski, Politechnika Rzeszowska

Skład i redakcja wydawnictwa, na podstawie materiałów dostarczonych na dyskietkach
Dr inż. Katarzyna Antosz

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
Ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów

SPIS TREŚCI:

WPROWADZENIE

Łunarski J.: O znaczeniu normalizacji w działalności gospodarczej	5
I. OGÓLNE PROBLEMY MODULARYZACJI	7
1. Koreszkow W., Aleksiejewa T., Lachowicz A., Chejfec M.: Projektowanie procesów technologicznych z wykorzystaniem diagramów SADT	9
2. Pasiecznik W., Korenkow W., Łaszina J.: Formalizacja identyfikacji kinematycznych i siłowych łańcuchów w wyrobach montażowych	15
3. Kuzniecowa J., Dimitrijew D., Firianskij W.: Modułowa zasada konfigurowania piramidalnych obrabiarek z równoległą kinematyką	23
4. Sedych M.: Modułowa zasada projektowania systemów magazynowych	31
5. Koreszkow W., Aleksiejewa T., Lachowicz A., Tocziło W.: Sterowanie operacją złożonej obróbki z wykorzystaniem diagramu SADT	39
6. Ratusznaja I., Pasiecznik W.: Transformacja modelu matematycznego montowanego wyrobu w model o ograniczonym szeregowaniu technologicznych operacji montażu	45
7. Gorski S.: Minimalizacja strumieni materiałowego przez racjonalne rozmieszczenie modułów technologicznych w gniazdach produkcyjnych	53
8. Kęsy M., Tubielewicz K.: Algorytmy genetyczne w inżynierii produkcji	59
II. PROBLEMY MODULARYZACJI W PRZYGOTOWANIU PRODUKCJI	67
9. Woronienko W.: Technologiczne przygotowanie produkcji mechaniczno – montażowej z wykorzystaniem podejścia modułowego	69
10. Dołgow W.: Zarządzanie konfiguracją systemów technologicznych w realizacji zamawianej produkcji	75
11. Zubkow S.G., Reznichenko W.J., Chmiel D. S.: Szybkościowy Helikopter z osiowym opływem śmigieł	83
12. Kirilowicz W. A., Bidenko K.G., Makarenko N. W.: Automatyczne klasyfikowanie stref obsługi urządzeń technologicznych przez roboty przemysłowe	89
13. Barakatin M. B., Reznichenko W.J.: Cechy charakterystyczne opracowania paneli z bazalto-plastików pochłaniających hałasy	97
14. Popok N.: Wielofunkcyjne blokowo – modułowe narzędzia skrawające	101
15. Kastriuk A.: Projektowanie organów roboczych ziemnych maszyn rolniczych	107
16. Timiriazew W. A., Serebriakow A. A.: Wykorzystanie modułów konstrukcyjno – technologicznych prototypów do projektowania procesów technologicznych w systemie dialogowym	111
17. Duplaga M., Stadnicka D.: Wdrażanie TPM w praktyce dużego przedsiębiorstwa	115
III. PROBLEMY MODULARYZACJI W PROCESACH PRODUKCYJNYCH	127
18. Kielec R.: Planowanie procesów produkcyjnych o charakterze iteracyjnym	129
19. Bednarczyk J., Walotek W.: Zautomatyzowane gniazdo do elektrodynamicznego montażu elementów systemu rynnowego	137
20. Reifur B., Engel B.: Moduł wspomaganie prac projektowych dla konfiguracji ergonomicznych stanowisk montażowych	147
21. Chejfec M., Zewelewa E., Akułowicz L.: Mechatroniczne kompleksy technologiczne dla obróbki i umacniania wyrobów	155
22. Akułowicz L., Sadiukowicz A., Zewelewa E., Chejfec M.: Sterowanie w mechatronicznych technologicznych kompleksach złożoną obróbką w polu elektromagnetycznym	163

23.	Zbrowski A.: Modułowa struktura miniaturowego tripoda laboratoryjnego	171
24.	Streubel A., Kuran M., Uchman M.: Procedura regeneracji głowic silnika spalinowego	179
25.	Zbrowski A., Mężyk J., Czajka P.: Modułowy manipulator do pomiarów akustycznych w komorze bezdechowej	189
26.	Kluz R.: Wyznaczenie optymalnej orientacji chwytaka robota montażowego	197
27.	Kowalski T., Niedbała M.: Moduł automatyzujący podawanie i magazynowanie przedmiotów obrabianych na centrum tokarskim	205
IV. SYSTEMY ZMODULARYZOWANE I ICH WŁAŚCIWOŚCI		211
28.	Honczarenko J., Berliński A.: Modułowa budowa zautomatyzowanych stanowisk technologicznych obróbki plastycznej na prasach	213
29.	Przybyłek P., Komorek A.: Modułowa budowa silników lotniczych wojskowych statków powietrznych	221
30.	Oborski I.: Technologiczne podstawy montażu połączeń wciskanych termicznie z wykorzystaniem regularnego mikroreliefu w strefie kontaktu	229
31.	Oborski I., Zenkin A.: Zastosowanie specjalnej topologii mikroreliefu przy termicznym montażu połączeń wciskanych	235
32.	Szałaj W., Oborski I., Zenkin A.: Zastosowanie warstw klejowych w montażu połączeń wciskanych metodą nagrzewania	243
33.	Stós J., Kasprzak A., Hyży J., Kowalik M.: Moduł kompensacyjny podatny w zespołach wciskających	249
34.	Rośkowicz M.: Trwałość zmęczeniowa połączeń nitowych	257
35.	Gil S.: Badania dynamiczne wybranych połączeń elementów uchwytów składanych	263
36.	Mnacanian W., Bojko P.: Regeneracja powierzchni roboczych mimośrodowych tulei w mechanizmach kruszarek	271
37.	Spis II części Materiałów Konferencyjnych	273
38.	Indeks Autorów	275

Jerzy Łunarski
Politechnika Rzeszowska

Wprowadzenie

O ZNACZENIU NORMALIZACJI W DZIAŁALNOŚCI GOSPODARCZEJ

Kolejne konferencje nt. „Modułowe Technologie i Konstrukcje w Budowie Maszyn” gromadzą coraz liczniejsze grono specjalistów z różnych dziedzin wytwarzania maszyn zainteresowanych efektami ekonomiczno społecznymi, jakie przynosi modularyzacja będąca znaczącą dziedziną normalizacji.

Wśród ważnych metod normalizacji przyczyniających się do ograniczania różnorodności do niezbędnego minimum można zaliczyć m.in.:

- Symplifikację, której celem jest zmniejszenia liczby gatunków i wymiarów materiałów, półfabrykatów, elementów handlowych, smarów, paliw, maszyn, przyrządów itp. Dzięki symplifikacji uproszczeniu ulega gospodarka materiałowa, energetyczna, narzędziowa i in., co w efekcie przynosi obniżkę kosztów wytwarzania, uproszczenie dostaw, zmniejszenie potrzebnego oprzyrządowania itp.
- Typizacja obejmująca również procesy unifikacji, której celem jest opracowanie typowych konstrukcyjnych lub technologicznych rozwiązań dających możliwość wyboru i wkomponowania do dokumentacji normatywnej. Metoda ta jest szczególnie zalecana w dużych przedsiębiorstwach i polega na ustanowieniu preferowanych szeregów wymiarowych wyrobów lub szeregów ich cech konstrukcyjnych oraz podobnych w odniesieniu do procesów technologicznych.
- Modularyzacja (zwana niekiedy agregatyzacją) stosowana jest w procesach konstrukcyjnego i technologicznego przygotowania produkcji różnych wyrobów. Polega ona na opracowaniu i stosowaniu kompatybilnych modułów z ujednoliconymi interfejsami, co umożliwia konfigurowanie ze znanych i seryjnie wytwarzanych modułów różnych wariantów wyrobów. Dotychczas modularyzacja jest szeroko stosowana w wytwarzaniu urządzeń i oprzyrządowania technologicznego, lecz obserwuje się coraz nowsze i szersze jej zastosowania.

Do szczególnych korzyści gospodarczych odnoszonych dzięki stosowaniu ww. metod można zaliczyć:

- znaczne ograniczenie różnorodności wytwarzanych modułów i wydłużenie ich serii produkcyjnych, co sprzyja poprawie jakości, trwałości i niezawodności tych modułów
- umożliwienie znacznego różnicowania różnych wyrobów poprzez wykorzystywanie typowych modułów i ich odpowiednie konfigurowanie, co znacznie zmniejsza koszty uruchomień produkcji,
- uproszczenie i ułatwienie gospodarki remontowej i serwisowej pozwalającej na minimalizację przestoju i polepszenie niezawodności sprzętu zmodularyzowanego,
- umożliwienie spełnienia nowych i zróżnicowanych potrzeb konsumentów i przedsiębiorstw przy znacznie zróżnicowanych łącznych kosztach projektowania, wytwarzania i eksploatacji.

Obecna konferencja organizowana jest tradycyjnie przez Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, zaś drugim organizatorem jest Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, w struktury, którego został w 2007r. włączony wcześniejszy współorganizator „Ośrodek Badawczo – Rozwojowy Podstaw Technologii i Konstrukcji Maszyn _ TEKOMA Warszawa”. W skład Instytutu włączono również „Ośrodek Badawczo – Rozwojowy KOPROTECH Warszawa”. Dzięki tej konsolidacji znacznie wzrosły potencjalne możliwości Instytutu wykonywania różnorodnych złożonych prac z zakresu mechanizacji i automatyzacji procesów obróbkowo – montażowych, na potrzeby krajowych przedsiębiorstw wytwórczych.

Organizatorzy pragną również przeprosić uczestników Konferencji za zmianę pierwotnie planowanego miejsca konferencji spowodowaną poważną awarią techniczną i odmową przyjęcia uczestników we wcześniejszym uzgodnionym terminie.

Organizatorzy spodziewają się, że nowe miejsce w Ośrodku Szkoleniowo – Wypoczynkowym przy Stadninie Koni Huculskich „Gładyszów” w Regietowie umożliwi uczestnikom zarówno pełne wykorzystanie możliwości merytorycznych w postaci wymiany doświadczeń, prezentacji opracowań, inspiracji nowymi pomysłami itp., oraz umożliwi również poznanie nowych uroczych miejsc Podkarpacia i odpoczynku w towarzystwie specjalistów – przyjaciół. Organizatorzy pragną podziękować autorom i uczestnikom za ich twórczy wkład w organizację merytoryczną konferencji, przysłanie interesujących i nowatorskich prac publikowanych w niniejszym Zeszycie Naukowym Politechniki Rzeszowskiej oraz w nr 2/2009 kwartalnika Naukowo - Technicznego „Technologia i Automatyzacja Montażu”.

Życzymy uczestnikom owocnych i pożytecznych obrad i pozytywnych wrażeń poznawczych z Konferencji.

I
OGÓLNE PROBLEMY MODULARYZACJI

Walerij KORESCHKOW

Komitet Normalizacji Mińsk, Białoruś

Tatiana ALEKSIEJEWA

Aleksandr LACHOWICZ

Michail CHEJFEC

Połocki Uniwersytet Techniczny, Nowopołock, Rosja

PROJEKTOWANIE PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM DIAGRAMÓW SADT

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SADT - ДИАГРАММ

ВВЕДЕНИЕ.

Технология автоматизированного проектирования технологических процессов (ТП), предназначена для разработки алгоритмов функционирования цифровых систем управления и исследования динамики ТП, последующего возможности реализации отдельного ТП или целого их класса с заданными качественными, точностными и экономическими характеристиками при использовании рассматриваемых технических средств, а также предполагаемого алгоритма управления без натурного моделирования [1,2].

Важнейшей функцией технологии автоматизированного проектирования является формирование рекомендаций или требований к отдельным элементам системы «заготовка-инструмент-приспособление-станок» (ЗИПС) при проектировании новых ТП на существующих технических средствах, либо ко всему комплексу «система управления — ЗИПС» для вновь разрабатываемых технических средств на ранних этапах их проектирования, позволяющих обеспечить технико-экономические показатели при реализации заданного класса ТП [3,4].

Технология автоматизированного проектирования в единстве с реализующим ее программным комплексом должны представлять собой достаточно удобный и наглядный инструмент для консультаций и подготовки высококвалифицированных специалистов, занимающихся научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами в области автоматического управления динамическими объектами [5,6].

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ.

Технология проектирования представляет собой упорядоченную совокупность операций по обработке и анализу экспериментальной и формированию аналитической информации: о цели управления ТП, о системе ЗИПС; о формализации управления ТП. Последняя задача как задача оптимального управления вводится в специальный моделирующий программный комплекс (МПК), либо возможна адаптация уже имеющихся программных модулей к решению сформированной задачи: проведение цикла моделирования; анализ результатов этой технологии моделирования, формирование выводов и оформление их в требуемом заказчику или руководителю проекта виде [5].

Состав и структура информационной технологии в области проектирования определяется ее назначением, составом, структурой и физической сущностью моделируемых элементов, требованиями, предъявляемыми к исследуемой системе и ее элементам, ограничениями,

накладываемыми на процесс их функционирования, с одной стороны, а также используемыми для решения поставленной задачи математическими методами, с другой стороны [6].

Основу технологии составляют метод аналитического синтеза замкнутых систем управления, полученные с его помощью алгоритмы управления в общем виде, позволяющие обеспечить на этапе синтеза заданные характеристики устойчивости и качества процессов управления, а на этапе моделирования заданные, либо достижимые показатели точности [3,4].

Технология автоматизированного проектирования по составу, структуре, форматам входных данных и представленных результатов в определенной степени может рассматриваться как разновидность SADT-технологии (SADT - Structured Analysis and Design Technique)[6]. При этом технология автоматизированного проектирования выделяется значительным расширением класса решаемых с ее помощью задач и сокращением сроков проектирования, как систем управления, так и динамических объектов в целом.

К основным преимуществам SADT-технологии по сравнению с другими подходами к решению сложных задач структурного анализа, синтеза, и последующего моделирования, которые обусловили выбор ее в качестве основного средства при решении рассматриваемой задачи являются [5,6]:

1.Строгая формализация самого процесса проектирования, а также оформления результатов, что обеспечивает удобство восприятия и анализа моделей, а также простоту стыковки моделей разных уровней, либо полученных разными разработчиками;

2.Достаточный компромисс между наглядностью моделей и их информативностью;

3.Развитая система редактирования и коррекции, как в плане удобства ввода изменений на любом уровне иерархии диаграмм, так и в плане учета их на связанных с редактируемым элементом диаграммы уровнях SADT-модели;

4.Значительные удобства формирования диаграмм, обеспечивающие, графические возможности при формировании блоков на уровне современных программных комплексов и автоматическое изображение дуг любой сложности в соответствии с требованиями SADT-технологии.

Одной из важнейших особенностей применения SADT-технологии при решении рассматриваемого класса задач является возможность, с одной стороны, разработки с ее помощью технологий проектирования технологических процессов, а с другой, использования полученных результатов для проектирования собственно технологических процессов изготовления детали.

Таким образом в наиболее обобщенной формулировке назначением полученной с использованием SADT-подхода технологии является проектирование многофакторных технологических процессов, оптимизируемых по множеству параметров качества.

ДЕТАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ДИАГРАММ.

SADT-диаграмма 0-уровня для разработки технологии автоматизированного проектирования и моделирования технологических процессов рассматривает входные, управляющие данные, средства (механизмы), необходимые для решения поставленной задачи, и выходные данные (рис. 1):

I₁- конструкторская документация на изделие;

I₂- тип станка, системы ЧПУ, характеристика инструмента и расчётная схема системы ЗИПС;

I₃- параметры обрабатываемого материала;

C₁- сроки проектирования;

C₂- производительность;

C₃- себестоимость;

M₁- комплекс математических модели (КММ) системы ЗИПС;

M₂- моделирующий программный комплекс (МПК);

M₃- база данных (БД) материалов;

M₄-БД инструмента;

M_5 - персонал отдела САПР;
 O_1 - требуемый ТП;
 O_2 - требования на корректировку управлений или входов.

Дальнейшая декомпозиция рассматриваемой задачи, произведенная на основе SADT-технологии с учетом особенностей метода, предлагаемых для использования программно-аппаратных средств [5], а также анализа требований, предъявляемых в современных условиях к ТП, позволяет получить комплекс SADT-диаграмм (рис. 2-3).

SADT-диаграмма уровня A0 (рис.2) сформированная на основании традиционного подхода к проектированию подобных процессов, предполагает наличие четырех основных функций-блока: управление проектированием (A1), разработка варианта ТП (A2), оценка его себестоимости (A3) и оценка его качества (A4).

Наиболее сложной является детализация функции A2 — "Разработать вариант технологического процесса". Результатом декомпозиции этого блока является SADT-диаграмма уровня A2 (рис.3), где для блока A2 представлены входные (I_1 — I_3), управляющие — по срокам проектирования (выход блока A1), и по производительности (C_2) данные, необходимые средства (механизмы) (M_1 — M_6), а также выходная информация: либо заданный ТП (без учета его себестоимости), либо требования по корректировке входных или управляющих данных. Последняя ситуация возникает в случае, когда анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о невозможности в текущей постановке задачи рассчитать параметры алгоритма оптимального управления, реализующего заданный ТП с заданной точностью в определенное время.

Необходимо отметить что SADT-технология распространяется не только на проектирование непосредственно процессов обработки, но и на процессы их подготовки, обеспечения и межоперационные переходы[1,6].

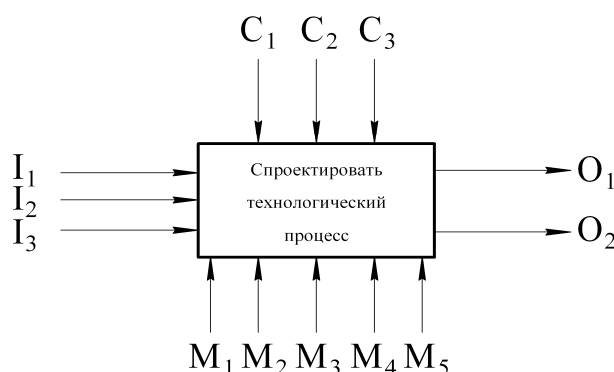


Рис. 1 - SADT-диаграмма 0-уровня технологии автоматизированного проектирования технологического процесса.

Rys. 1 Diagram SADT zeropoziomowej technologii zautomatyzowanego projektowania procesu technologicznego

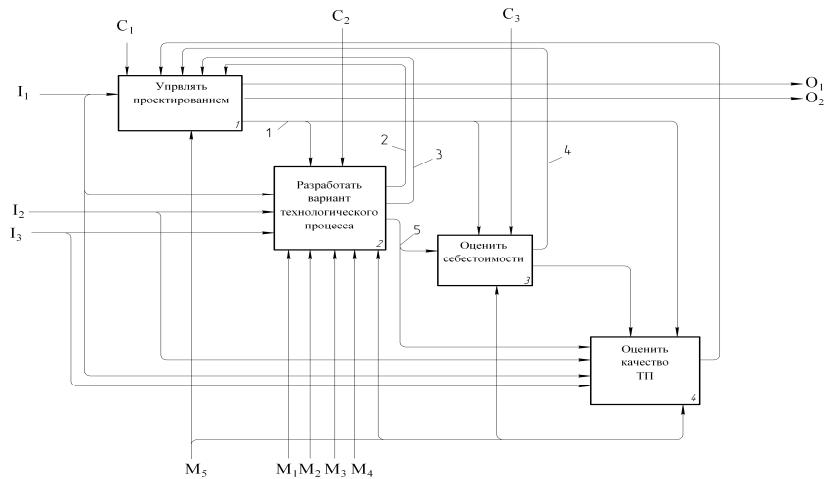


Рис. 2 - SADT-диаграмма уровня A0

1-план проектирования ТП; 2- корректировка по срокам; 3- корректировка по производительности;
4- корректировка по себестоимости; 5- вариант ТП.

Rys. 2. Diagram SADT poziomu AO: 1 – plan projektowania DT, 2 – korygowanie według czasu,
3 – korygowanie według wydajności, 4 – korygowanie według kosztu własnego,
5 – wariant procesu technologicznego

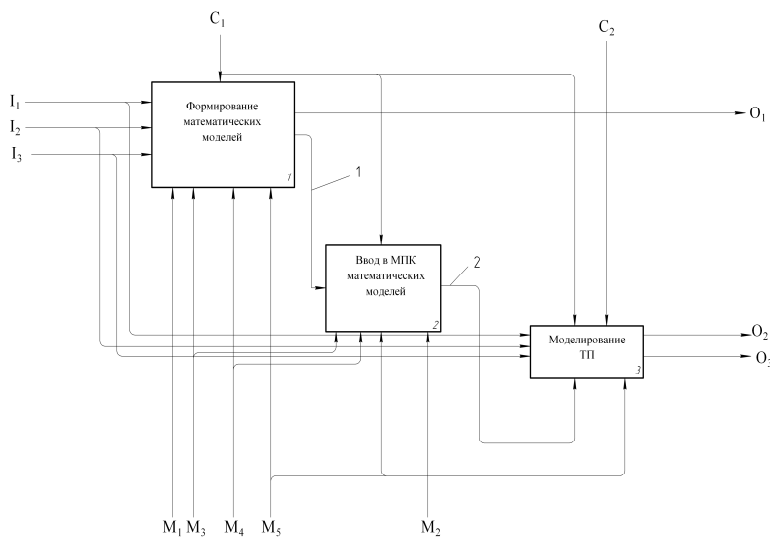


Рис. 3 - SADT-диаграмма уровня A2

1 - совокупность математических моделей; 2- МПК.

Rys. 3. Diagram SADT poziomu A2: 1- zbiór modeli matematycznych,
2 – modelujący kompleks programowy

ВЫВОДЫ.

Из рассмотренных SADT-диаграмм (рис. 1-3) видно, что технология автоматизированного проектирования систем управления динамическими объектами, заключается в выполнении последовательности этапов[4,5]:

1. Построение математических моделей, определение ошибки управления, то есть предварительный анализ класса задач подлежащих решению, выбор системы координат, векторов состояния и управления и формирование в выбранной системе координат математических моделей, а также ошибки управления. Указанные функции в выражениях могут быть заданы аналитически, таблично, либо смешанным образом, поэтому часто возникает необходимость использования методов и соответствующих им алгоритмов аппроксимации. Построенные модели позволяют обратившемуся к базе данных, содержащей разработанные ранее модели, сделать вывод о возможности использования в процессе проектирования готовых программных модулей.

2. Разработка, в случае отсутствия необходимых аналогов, программных модулей, реализующих полученные математические модели и позволяющих в каждый момент времени рассчитать положение границ эксплуатационной области, состояние динамического объекта, ошибки управления и ввод их в комплекс математических моделей (КММ) и соответствующие базы данных (БД) или использование уже имеющихся в соответствующей программе при последующем формировании требуемой совокупности моделей.

3. Моделирование динамического объекта, проверка и обеспечение адекватности моделей. Ввод в диалоговом режиме в моделирующий программный комплекс параметров исходного и заданного состояний динамического объекта, начального и конечного моментов времени, а также требуемых характеристик точности и качества процессов управления .

4. Собственно моделирование динамического объекта, в том числе выполнение следующих операций: расчет, конкретных значений коэффициентов всех моделей для данных значений векторов состояния и управления; проверка управляемости линейной нестационарной математической модели динамического объекта и совместности нестационарной математической модели. Проверка условия окончания моделирования и завершения моделирования при его выполнении;

5. Анализ результатов цифрового моделирования и принятия решений либо о применимости разработанной системы управления для решения рассмотренного класса задач, либо о минимальной конфигурации и характеристиках технических и технологических средств самого объекта управления. В комплекс вводятся параметры начального состояния динамического объекта, ошибки управления, рассматриваемый интервал времени, после чего комплекс переходит в автоматический режим моделирования движения динамического объекта.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А. С. Васильев, С. А. Васин, А. М. Дальский и др. – М. – Тула : ТулГУ, 2003. – 271 с.
- 2 Менеджмент качества предприятий машиностроения / В. Н. Корешков, Н. А. Кусакин, Ж. А. Мрочек и др. – Мн. : Экономика и право, 2003. – 224 с. Информационные технологии в наукоемком машиностроении : компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / под общ. ред. А. Г. Братухина. – Киев : Техника, 2001. – 728 с.
- 3 Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ. ред. М. Л. Хейфеца и Б. П. Чемисова. – Новополюк : ПГУ, 2002. – 268 с.
- 4 Акаев А. Б., Зайцева Л. В., Мурашов Д. М. Управление движущимися объектами. — Препринт. — М.: АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", 1988. 52 с.
- 5 Окулесский, В. А. Функциональное моделирование – методологическая основа реализации процессного подхода. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2001.- 280 с.

DESIGNING OF MANUFACTURING PROCESSES ON THE BASIS OF USE SADT - DIAGRAMMES.

It is shown, that the technology of the automated designing of control systems of dynamic objects on the basis of use of SADT-diagrammes consists in accomplishing of sequence of stages: the analysis of a class of commitments subject to the decision, developments of program modules, modelling of dynamic object, calculation of concrete parametres of model, the analysis of results of modelling, decision-making on applicability of the developed system.

Witalij PASIECZNIK
 Władimir KORENKOW
 Julia ŁASZINA
 Politechnika Kijowska, Kijów, Ukraina

FORMALIZACJA IDENTYFIKACJI KINEMATYCZNYCH I SIŁOWYCH ŁAŃCUCHÓW W WYROBACH MONTAŻOWYCH

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ В СБОРОЧНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

ВВЕДЕНИЕ.

Современные машиностроительные предприятия около 53% производственного времени тратят на операции сборки, а доля стоимости сборки в себестоимости изделия колеблется от 10 до 30% и имеет стойкую тенденцию к увеличению [1]. Одной из главных причин такой ситуации является доминирование вспомогательного времени над основным при выполнении операций сборки [2]. Перспективным направлением сокращения временных затрат на выполнение операций сборки является сборочно-ориентированное конструирование или DFA (англ. – *Design For Assembly*).

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ DFA.

Известны 3 метода DFA: *Hitachi Assemblability Evaluation Method*, *Boothroyd Dewhurst System*, *Lucas DFA Technique*. На основании этих методов реализованы экспертные системы *Design for Assembly 9.2 (Boothroyd Dewhurst System)* [3] и *TeamSET Software (Lucas DFA Technique)* [4]. Однако даже для этих, наиболее развитых систем, характерной является ориентация на диалог с пользователем и практически все исходные данные вводятся вручную. Обработка результатов анализа также выполняется человеком, т.е. эти системы фактически являются электронным вариантом «бумажной» методики анализа, существовавшей ранее.

В то же время имеются предпосылки для автоматизации решения части задач DFA [5].

ОПИСАНИЕ СБОРОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ.

Исходной информацией для проведения DFA – анализа является трёхмерная модель *сборочного изделия* (СИ), реализованная в одной из CAD-систем. Такая модель с помощью системы *ExtrAss* [6] может быть преобразована в математическую модель СИ, представленную в виде *бинарных отношений ограничений подвижности* (БООП) [2] и позволяет описать любое СИ А иерархической совокупностью элементов $\{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ (деталей, сборочных единиц, комплектов) со связями, которые ограничивают в пространстве взаимное перемещение этих элементов, которые, в свою очередь, могут быть описаны совокупностью функций отображения:

$f_G: R \times T \rightarrow \Theta$ – геометрическими ограничениями на расстоянии $\theta \in \Theta$;

$f_P: R \times H \rightarrow \Omega$ – физическими принципами действия ($\omega \in \Omega$) соединения;

$f_R: R \times O \rightarrow Z$ – технологическими принципами ($\zeta \in Z$) реализации соединения на технологическом оборудовании ($o \in O$).

Для решения задачи выявления кинематических и силовых цепей в сборочных изделиях достаточно использования части информации, а именно: $f_{G,ij}^1$ – функции начальных геометрических БООП, описывающей контакт деталей СИ и $f_{G,ij}^3$ – функции геометрических БООП, описывающей признак наличия *соединения, обеспечивающего нераспадаемость* (СОН) [2] между парой деталей.

Матрицы математической модели СИ, автоматически сформированные программой *ExtrAss*, могут быть представлены сведенными графами контактных ограничений и признака наличия СОН. При этом контактное ограничение подвижности на графе будем отображать дугой или ребром, а признак СОН обозначается двойной линией.

Математическая модель СИ в виде БООП позволяет формализовать решения отдельных задач DFA анализа, в котором [5], одним из направлений является целенаправленное сокращение количества деталей СИ. При объединении деталей учитываются конструктивные, технологические и функциональные ограничения.

Одним из функциональных ограничений, для которого существует возможность автоматизации анализа, является неизменность кинематики механизма после перепроектирования изделия.

Далее рассмотрим процедуру кинематического анализа СИ, направленную на сокращение количества её деталей.

ПОРЯДОК АНАЛИЗА.

Согласно [7], любое изделие характеризуется наличием цепочек потоковых связей – последовательности преобразований элементами данного изделия потока веществ, энергии, сигнала и т.п., которые выявляются при кинематическом анализе и носят название – кинематические цепочки.

В механических системах кинематические цепочки реализуют передачу энергии через силовое взаимодействие элементов, причем в таком взаимодействии участвуют не все элементы, а лишь некоторые (функционально необходимые для передачи движения), остальные же элементы выполняют второстепенную роль одного из множества возможных вариантов конструктивного исполнения. Основная идея работы состоит в формализованном разделении множества $\{A\}$ всех элементов СИ на два подмножества: $\{A^F\}$ – функционально необходимых элементов; $\{A^A\}$ – дополнительных элементов. Элементы подмножества $\{A^F\}$ не подлежат объединению, в то время как элементы множества $\{A^A\}$ могут быть объединены с другими. В пределе задача может быть сведена к наличию в конструкции СИ только элементов подмножества $\{A^F\}$.

Для выделения элементов множества $\{A^F\}$ следует научиться выделять элементы, участвующие в кинематических цепочках. Для выявления кинематической цепочки необходима информация о кинематической структуре СИ, т.е. о *кинематических парах* (КП) и звеньях кинематической цепи.

Теоретически кинематическая пара образуется с помощью двух деталей, однако конструктивно, как правило, реализуется большим количеством деталей. Так группа деталей $(a_{11}, a_{12}, a_{15}, a_{13}, a_{14})$ (рис. 1) образует кинематическую пару V класса, причём детали a_{11} и a_{12} являются звеньями кинематической цепи, в то время как остальные детали служат для ограничения взаимной подвижности этих звеньев.

Информация о БООП группы деталей, образующих кинематические пары, дает возможность выявить их аналогично СОН, реализованным несколькими деталями [8].

Алгоритм поиска кинематических цепочек основан на следующих принципах:

Пара деталей a_i и a_j образует **неподвижное соединение**, если они взаимно ограничены по всем координатным направлениям, т.е.

$$\{G_M(R_{G,i \in T}^1), G_R(R_{G,i \in T}^1)\} = \emptyset, \quad (1)$$

где, $G_M(R_{G,i \in T}^1)$ – поступательные и $G_R(R_{G,i \in T}^1)$ – вращательные начальные отношения ограничения подвижности по множествам координатных направлений $t \in T$, где $T = \{X, Y, Z\}$.

Пара деталей a_i и a_j образует **подвижное соединение**, если между ними отсутствует ограничение хотя бы вдоль одного координатного направления, т.е.

$$\{G_M(R_{G,i \in T}^1), G_R(R_{G,i \in T}^1)\} \neq \emptyset, \quad (2)$$

Исходными данными алгоритма является информация о неподвижной детали («стойке») и движении начального звена механизма.

Алгоритм поиска кинематических цепочек включает следующие этапы (рис. 1).

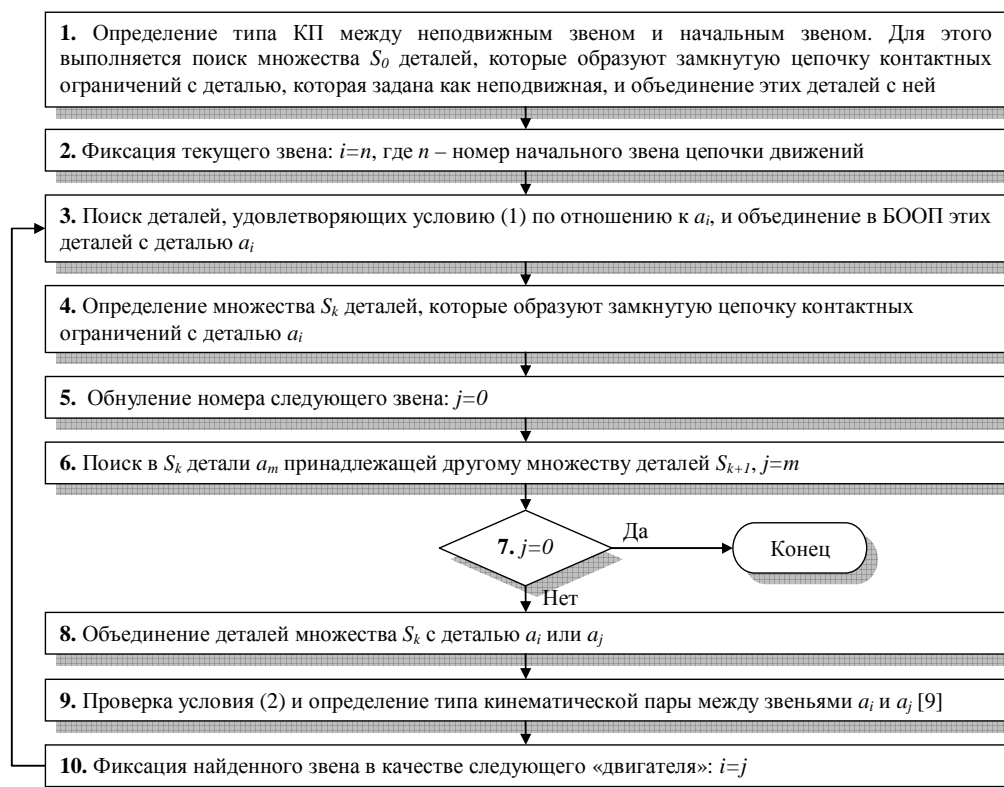


Рис. 1. Алгоритм поиска кинематических цепочек
Rys. 1. Algorytm poszukiwania łańcuchów kinematycznych

Порядок проведения DFA анализа, основанного на поиске кинематических цепочек, и направленного на сокращение количества деталей изделия, рассмотрим на примере СИ

«Распределитель гидравлический» (рис. 2). Информация о БООП представлена в виде графов контактов по трём координатным направлениям (рис. 3).

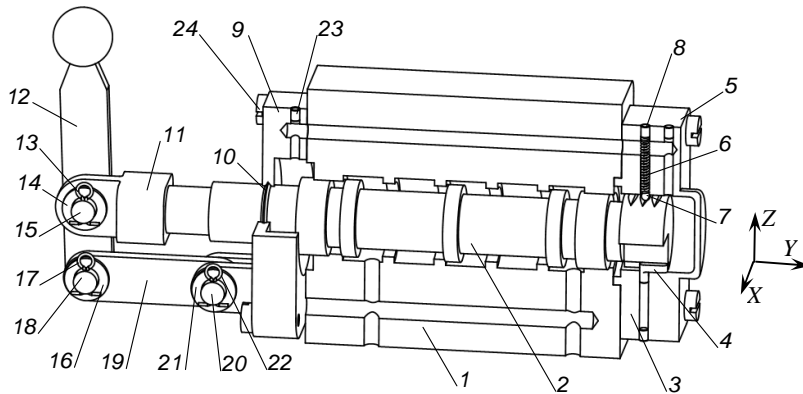


Рис.2. Распределитель гидравлический:

- 1 – корпус; 2 – золотник; 3, 9 – крышка; 4 – шпонка; 5, 24 – винт; 6 – шарик;
7 – пружина; 8, 23 – пробка; 10 – сальник; 11 – гайка; 12 – рукоятка;
13, 17, 22 – шплинт; 14, 16, 21 – шайба; 15, 18, 20 – штифт; 19 – пластина.

Rys. 2. Rozdzielacz hydrauliczny: 1 – korpus, 2 – miernik, 3, 9 – pokrywy, 4 – wpust, 5, 24 – śruba, 6 – kulka, 7 – sprężyna, 8, 23 – zaślepka, 10 – uszczelniacz, 11 – nakrętka, 12 – rękojeść, 13, 17, 22 – zawlecarki, 14, 16, 21 – podkładki, 15, 18, 20 – kołki, 19 – płyta

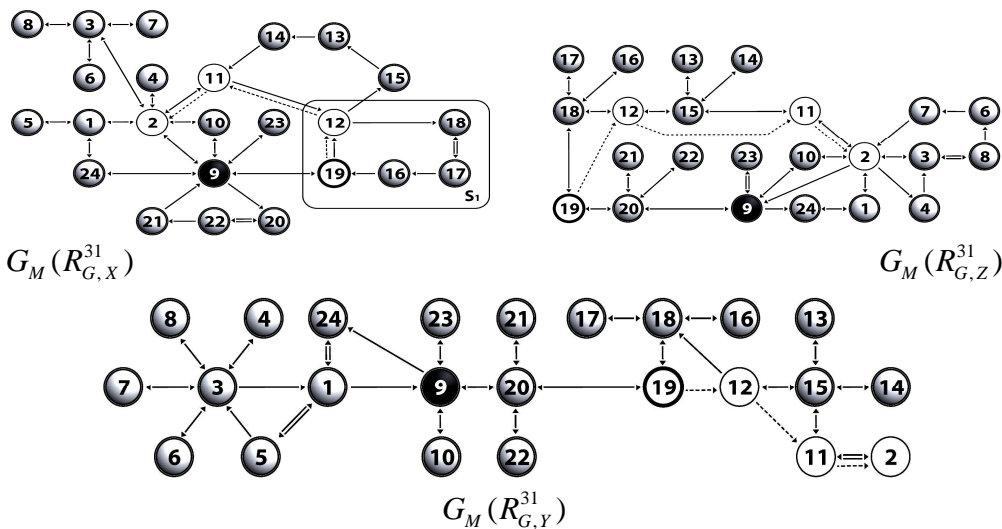


Рис. 3. Совмещенные графы начальных БООП и СОИ для СИ «Распределитель гидравлический»
Rys. 3. Zintegrowane grafy początkowych binarnych ograniczeń ruchliwości i połączeń zapewniających integralność dla wyrobu montowanego „rozdzielacz hydrauliczny”

Неподвижным звеном «стойкой» определена деталь a_9 . Начальное движение – поворот детали a_{19} относительно оси соединения деталей a_9 и a_{19} . Отметим, что выбор звена, осуществляющего движение, может быть формализован, но это тема отдельного исследования, которое выходит за рамки данной статьи.

Этап 1. Выполняем поиск множества деталей, образующих замкнутую цепочку контактных ограничений с неподвижной деталью a_9 . Такая цепочка присутствует на графе контактов по оси X – $S_0 = \{a_9, a_{20}, a_{22}, a_{21}\}$. Выполняем формальное объединение деталей множества S_0 в одну и определяем тип КП между деталями a_9 и a_{19} . Между a_9 и a_{19} кинематическая пара V класса «вращательная».

Этап 2. Фиксируем номер начального звена цепочки движения: $i=19$.

Этап 3. Для детали a_{19} деталей, удовлетворяющих условию (1) нет.

Этап 4. Определяем множество S_1 деталей, которые образуют замкнутую цепочку контактных ограничений с деталью a_{19} (рис. 3):

$$S_1 = \{a_{19}, a_{12}, a_{18}, a_{17}, a_{16}\}.$$

Этап 5. Обнуление номера следующего звена: $j=0$.

Этап 6. Среди деталей множества S_1 деталь a_{12} контактирует с a_{11} и a_{15} , которые не принадлежат S_1 . $j=12$.

Этап 7. Проверка завершения цепочки. $j \neq 0$ – следующее звено существует.

Этап 8. Объединение деталей a_{18}, a_{17}, a_{16} с деталью a_{12} .

Этап 9. Условие (2) для деталей a_{12} и a_{19} выполняется, детали образуют КП V класса «вращательную».

Этап 10. Фиксируем деталь a_{12} в качестве следующего звена в цепочке движения и возвращаемся к п. 3.

В результате циклической работы алгоритма были выявлены множества:

$$S_0 = \{a_9, a_{20}, a_{22}, a_{21}\};$$

$$S_1 = \{a_{19}, a_{12}, a_{18}, a_{17}, a_{16}\};$$

$$S_2 = \{a_{12}, a_{15}, a_{13}, a_{14}, a_{11}\}.$$

Деталь a_2 объединена с деталью a_{11} по условию (1).

Получена цепочка движения: $a_{19} \rightarrow a_{12} \rightarrow a_{11} \rightarrow a_2$ (на графах контактов (рис. 3) обозначена пунктирными стрелками).

В каждой из выделенных групп деталей (S_0, S_1, S_2) (рис. 4) количество деталей, необходимых для реализации кинематики механизма равно количеству входящих в него звеньев кинематической цепи. Детали группы, не являющиеся звеньями кинематической цепи можно попытаться исключить путём перенесения их функций на конструктивные элементы звеньев кинематической цепи.

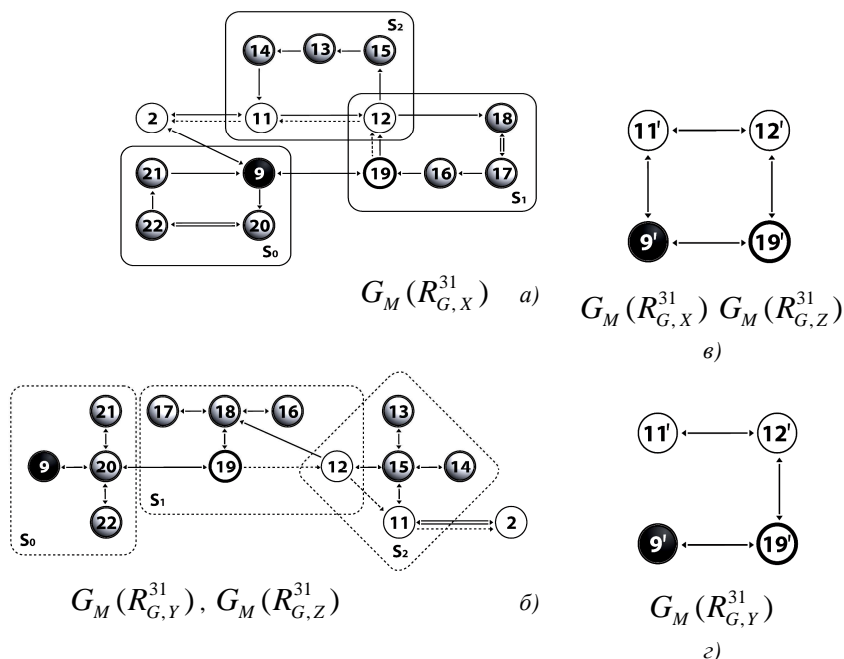


Рис. 4. Выделение групп деталей, которые могут быть объединены:
 а, б – совмещенные графы БООП и СОН исходной конструкции;
 в, г – совмещенные графы БООП и СОН новой конструкции

Rys. 4. Wprowadzenie grup części, które mogą być połączone,
 а, б – zintegrowane grafy z rys. 3 początkowej konstrukcji,
 в, г – zintegrowane grafy z rys. 3.. nowej konstrukcji:

На рис. 5 показаны исходная конструкция и два варианта переконструирования изделия, уменьшающие количество деталей без снижения функциональности механизма.

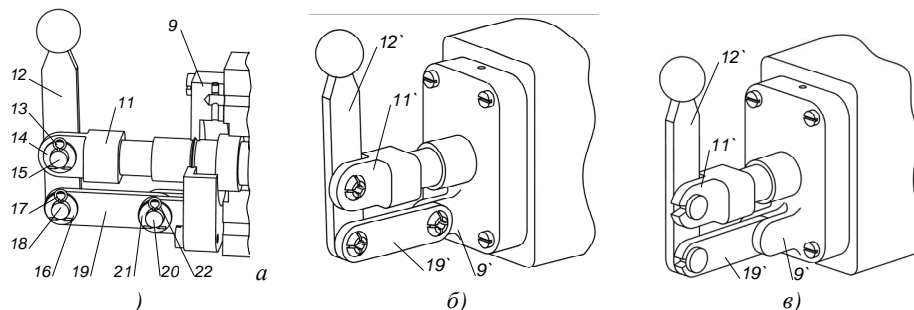


Рис. 5. Исходная конструкция (а) и два варианта (б, в) переконструирования СИ «Распределитель гидравлический»

Rys. 5. Początkowa konstrukcja (a) i dwa warianty (b,c) przekonstruowanego wyrobu montażowego „rozdzielacz hydrauliczny”

Следует отметить, что вопросы надежности работы новой конструкции, ее ремонтпригодности, а также, стоимости изготовления «усложненных» деталей, должны рассматриваться проектировщиком в комплексе. Мы же представили новый подход, позволяющий целенаправленно выделить те детали, которые могут быть объединены без ущерба для кинематики и передачи силового воздействия.

ВЫВОДЫ.

Сборочно-ориентированное конструирование (DFA) является перспективным направлением снижения себестоимости производства изделий. Существующие решения в области автоматизации DFA не поддерживают в полной мере сквозную информационную интеграцию со средствами автоматизированного проектирования изделий и являются фактически системами, работающими в диалоге с пользователем.

Новая процедура решения одной из задач DFA, а именно, – анализ кинематики механизма с целью выявления функционально необходимых элементов и дополнительных элементов конструкции, позволяет предлагать варианты переконструирования изделия без нарушения функциональности изделия. Преимущество предложенной процедуры кинематического анализа состоит в следующем: исходной информацией является трёхмерная модель СИ, выполненная в одной из CAD систем; алгоритм поиска кинематической цепочки основан на математической модели СИ в виде БООП, которая также используется для решения задач автоматизации технологической подготовки сборочного производства. Таким образом, данная процедура может быть использована в качестве элемента системы автоматизированной технологической подготовки производства с возможностью интеграции с другими системами поддержки жизненного цикла изделия.

Применение предложенной процедуры к СИ «Распределитель гидравлический» позволило на основе математической модели в виде БООП определить кинематическую структуру изделия и выявить возможность сокращения количества деталей, которые необходимы для реализации кинематики с 15 до 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mechanical Engineering Handbook. Frank Kreith Ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999
2. Пасечник В. А., Петраков Ю. В., Кореньков В. Н. Ограничение подвижности деталей в сборочной единице – основа математической модели сборочного изделия // Technika i technologia montazu maszyn. – 2008. – z.72. – С. 29-36.
3. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly // Computer Aided Design. – 1994. – Vol. 26, №9. – P. 505-520.
4. Lucas Engineering Systems Ltd., University Of Hull, Design For Assembly / Manufacture Analysis Practitioners Manual, Version 10.5, CSC Manufacturing, Solihull, UK, 1995.
5. Korenkow W., Pasiecznik W., Łaszina J. Procedura ukierunkowanej analizy DFA dla jednostek montażowych // Technologia i automatyzacja montażu. Ogólnopolski Kwartalnik Naukowo-Techniczny Nr 4 (62) październik – grudzien 2008. P. 11–14.
6. Сімута Р. Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: Дис. канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2003. – 133 с.
7. Koller R. Konstruktions methode für den Maschinen – Geräte und apparatebau – Berlin: Springer – Verlag, 1976. – 184 p.
8. Кореньков В.М., Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Аналіз з'єднань, що забезпечують нерознімність складальних одиниць та виробів, і деякі способи визначення таких з'єднань // Вісник технологічного університету Поділля. – 2002. – №4/ч.1. – С.48-52.

9. Пасічник В.А., Лашина Ю.В. Виявлення кінематичних з'єднань у складальній одиниці на основі інформації про бінарні відношення обмеження рухливості // Труды Одесского политехнического университета: Науч. и произв.-практ. сб. по техн. и ест. наукам. – Одесса, 2008. – С. 31-35.

FORMALIZATION OF DETECTING THE KINEMATIC AND FORCE CHAINS IN ASSEMBLY PRODUCTS

Abstract. This paper presents the possibility of decreasing the product cost by reducing part count. It is shown, that there is the possibility to formalize the kinematic analysis of mechanism. The new algorithm of detecting the kinematic and force chains in assembly product is proposed. The application of algorithm has been demonstrated on an example.

Jurij KUZNIECOW
Dmitrij DMITRIJEJEW
Władimir FIRIAŃSKIJ
Politechnika Kijowska, Kijów, Ukraina

MODUŁOWA ZASADA KONFIGUROWANIA PIRAMIDALNYCH OBRABIAREK Z RÓWNOLEGLĄ KINEMATYKĄ

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПИРАМИДАЛЬНЫХ КОМПОНОВОК СТАНКОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время наметились мировые тенденции развития станкостроения, среди которых:

1. Высокоскоростная (High Speed Cutting) и высокопроизводительная (High Production Cutting) обработка на скоростях лезвийной обработки до 30 м/с. и подачах при чистовом фрезеровании до 0,5 мм/зуб. благодаря использованию прогрессивного режущего инструмента, высокооборотных мотор-шпинделей с высокоскоростными зажимными патронами [1], быстродействующих приводов перемещения узлов на скоростях до 60-200 м/мин с ускорениями от 0,5g до 5g.
2. Создание многофункционального, многоцелевого оборудования для реализации комбинированных и разнохарактерных методов обработки, что позволяет существенно сократить производственный цикл и повысить точность обработки при одной установке детали.
3. Новые компоновки станков с мехатронными системами, шарнирными штангами постоянной и переменной длины, что существенно упрощает конструкцию, уменьшает вес станка и создает оптимальные условия для высокоскоростной обработки.
4. Агрегатно-модульный принцип различного технологического оборудования с использованием унифицированных узлов и модулей для гамм одностипных станков.

Современное технологическое оборудование классифицируется по видам обработки (токарные, фрезерные и другие), которое имеет исторические традиции, но не отвечает требованиям современной технологии производства в результате многоразового перебазируя деталей и значительного количества транспортных межоперационных процессов [2]. Внедрение новых технологий требует применения технологического оборудования с высоким уровнем интеграции операций, что позволяет выполнять комплекс разных технологических методов (разнообразные виды обработки, сварки, окрашивания, сборки, испытания, измерения и тому подобное) на одном рабочем месте за одну установку детали.

Основным направлением автоматизации процессов гибкого многономенклатурного серийного производства, которое удовлетворяет требованиям современной технологии производства есть создание агрегатно-модульного программно-управляемого быстроперенастраиваемого технологического оборудования, построенного на основе механизмов параллельной структуры (МПС). Подобное технологическое оборудование следует рассматривать не как усовершенствование существующих станочных систем традиционной компоновки, а как материальное воплощение нетрадиционного подхода к построению технологических процессов обработки, сборки, а также новых принципов конструирования современных станочных систем.

ИДЕОЛОГИЯ МОДУЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИКИ.

Ошибочным является практика создания новой технической системы из «своих» оригинальных узлов, что ведет к хаосу и в производстве, и в эксплуатации. Лучше тот конструктор, что создает новую техническую систему из стандартных, хорошо отработанных узлов, используя принцип модульного формирования техники – комплектование разнообразных сложных нестандартных комплексов с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного типов и типоразмеров одинаковых первичных (типовых, унифицированных, или стандартных) общих элементов – модулей [3, 4, 5].

Модули – это самостоятельные изделия, имеющие автономную документацию на изготовление, прошедшие функциональную проверку и готовые монтажу. Модули могут легко соединяться, образуя сложные системы, разъединяться и заменяться с целью получения систем с другими компоновками и характеристиками при ремонте и модернизации.

Основное преимущество модульного принципа – наличие потенциальной возможности обеспечить предварительное (до начала проектирования) упорядочивание состава элементов технической системы.

Согласно модульного принципа техническая система состоит из конструктивных (КМ) и функциональных (ФМ) модулей.

КМ – вид модуль-изделия, предназначенного в основном, для формирования несущих конструкций технической системы и для размещения оборудования.

ФМ – вид модуль-изделия с установленным оборудованием, предназначенного, в основном, для выполнения одной или нескольких функций технической системы.

КМ относятся к стационарным блокам, а ФМ – к координатным блокам, приводам и оборудованию для выполнения вспомогательных, контрольных и других движений.

ПРИНЦИПЫ МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СТАНКОВ С МПС.

Возможности технологического оборудования с МПС слишком широкие, они могут выполнять практически все виды работ, связанных с обработкой, сборкой, испытанием и контролем изделий.

Важным условием агрегатно-модульного принципа является создание конкретных модулей и других компонентов технологического оборудования с параллельной кинематикой в соответствии с функциональным назначением, требованиями потребителей и конкретных условий производства.

Основным критерием эффективности проектирования модулей является минимизация их массы и размеров с целью уменьшения материалоемкости, характеристик прочности и динамики.

Конкретные модификации технологического оборудования с параллельной кинематикой, которые построены по агрегатно-модульному принципу, должны удовлетворять следующим требованиям: мощность, скорость и ускорение движений исполнительного органа, а также точность позиционирования, жесткость кинематических цепей, размеры рабочего пространства должны отвечать комплексу технологических задач, которые реализуются на оборудовании; кинематическая структура и компоновка технологического оборудования с параллельной кинематикой должны обеспечить минимальное количество манипуляционных движений исполнительного органа и необходимое количество степеней свободы для реализации всех технологических операций, которые должны на нем реализоваться; комплекс технологических операций, уровень их интеграции и темп выполнения, а также энергетические и финансовые расходы на внедрение нового технологического оборудования должны обеспечить технико-экономическую эффективность его эксплуатации.

Анализ структурных схем технологического оборудования с параллельной кинематикой показывает [6], что все оно состоит из определенного количества соответствующих модулей. Каждый модуль технологического оборудования с параллельной кинематикой имеет конкретное функциональное назначение.

Выбор конкретной модификации технологического оборудования зависит от комплекса технологических задач, массы и габаритных размеров детали, ее конструктивной формы, количества сторон, которые обрабатываются, а также конкретных требований потребителя.

Следует заметить, что достаточный и обязательный комплект модулей необходимо дополнить соответствующими системами, которые обеспечивают сервисные условия функционирования технологического оборудования, а именно системами: управления, контроля и диагностики, смазки, удаления стружки, автоматической смены инструмента и другими.

КАРКАСНЫЕ КОМПОНОВКИ СТАНКОВ С МПС.

Создание станков на основе стержневых пространственных конструкций (при параллельной передаче нагрузок) обеспечивает достаточно жесткую пространственную форму (при заторможенных приводах).

В этих станках МПС обладают следующими основными свойствами: рационализация перераспределения движений и энергетических потоков за счет передачи их параллельными путями; использование кинематических звеньев в виде стержневой пространственной фермы, элементы которой работают только на растяжение-сжатие при отсутствии напряжений изгиба, что повышает жесткость технологической системы; минимизация масс подвижных элементов оборудования, количества соединений составных компонентов и их кинематических звеньев обуславливает повышение точности позиционирования исполнительных органов и улучшения динамических характеристик оборудования; геометрическая симметрия компоновки, модульное построение и расположение приводов на неподвижной несущей системе уменьшает расходы на производство и внедрение технологического оборудования нового поколения.

На основе треугольной формы расположения направляющих предложена принципиально новая пирамидальная компоновка многокоординатного сверлильно-фрезерного станка повышенной жесткости (рис. 1).

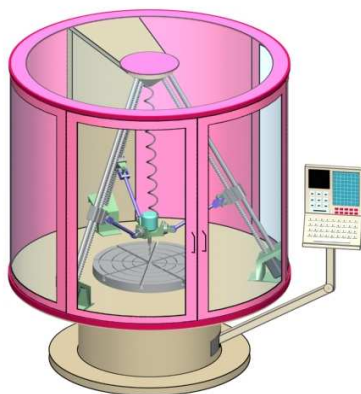


Рис. 1 – Многокоординатный сверлильно-фрезерный станок повышенной жесткости

Rys. 1. Wielowspółrzędnościowa wiertarko – frezarka o podwyższonej dokładności


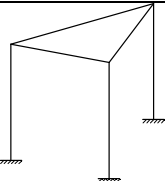
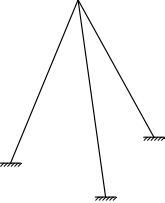
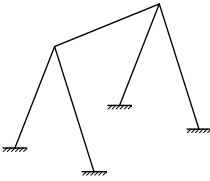
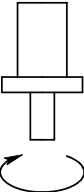
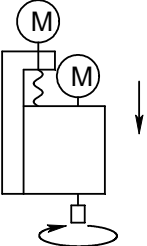
Оси механизмов поступательного движения имеют одну точку пересечения, расположенную над платформой с инструментальным исполнительным органом, и образуют правильную пирамиду. Станок имеет постоянную длину штанг, три цилиндрические направляющие и параллельно им три шарико-винтовых передачи с опорами снизу. Направляющие упираются в подпятник, который закреплен на Г-образной траверсе.

Жесткость упругой пространственной рамной системы обеспечена конструктивно, а не металлоемким повышением сопротивления поперечных сечений кинематических звеньев и станины. Приближенное сравнение объемов пирамиды и призмы с одинаковой высотой и площадью основы рамной системы свидетельствует об уменьшении металлоемкости и веса новой компоновки станка примерно в два, три раза.

Учитывая все достоинства каркасной компоновки, она была взята за основу для иллюстрации на схемном уровне модульного принципа компоновки.

Для синтеза новых компоновок станка с МПС необходимо определить с основным набором модулей (табл. 1) и на их основе прорабатывать сначала

концептуально, а затем конструктивно конкретные реализации.

<p>Таблица 1. Примеры некоторых модулей станков с МПС</p> <p>Tablica 1. Przykłady niektórych modułów obrabiarek z mechanizmami o równoległych strukturach (MPS)</p>		<p>Графическое условное обозначение</p>
Бло ка	Модуля	
2	3	4
Стационарный (неподвижный)	Станина (стол неподвижный)	
	Призматическая стойка (трехгранная)	
	Пирамидальная стойка (трехгранная)	
	Клиновидная	
Шпиндельный	Мотор-шпиндель	
	Самодействующая силовая головка электромеханическая	

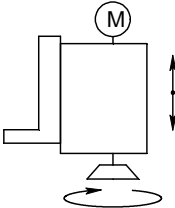
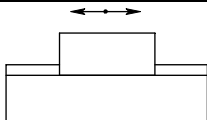
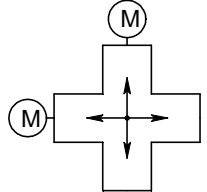
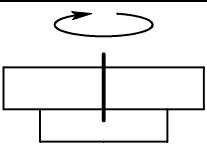
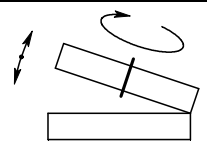
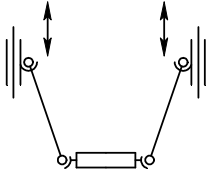
<p>Таблица 1. Примеры некоторых модулей станков с МПС</p> <p>Tablica 1. Przykłady niektórych modułów obrabiarek z mechanizmami o równoległych strukturach (MPS)</p>		Графическое условное обозначение
Блока	Модуля	
2	3	4
	Долбежно-протяжная головка (штоссель)	
Координатный традиционный	Поступательный однокоординатный стол	
	Поступательный двухкоординатный (крестовый) стол	
	Поворотный одноосный	
	Поворотный двухосный	
Координатный с МПС	Подвижная инструментальная платформа на штангах постоянной длины	

Таблица 1. Примеры некоторых модулей станков с МПС Наименование		Графическое условное обозначение
Tablica 1. Przykłady niektórych modułów obrabiarek z mechanizmami o równoległych strukturach (MPS)		
Бло ка	Модуля	
2	3	4
	Подвижная инструментальная платформа на штангах переменной длины	

Используя модульный принцип каркасных компоновок и системно-морфологический подход с выделением основных морфологических признаков, можно синтезировать станки с различными технологическими возможностями (рис. 2).

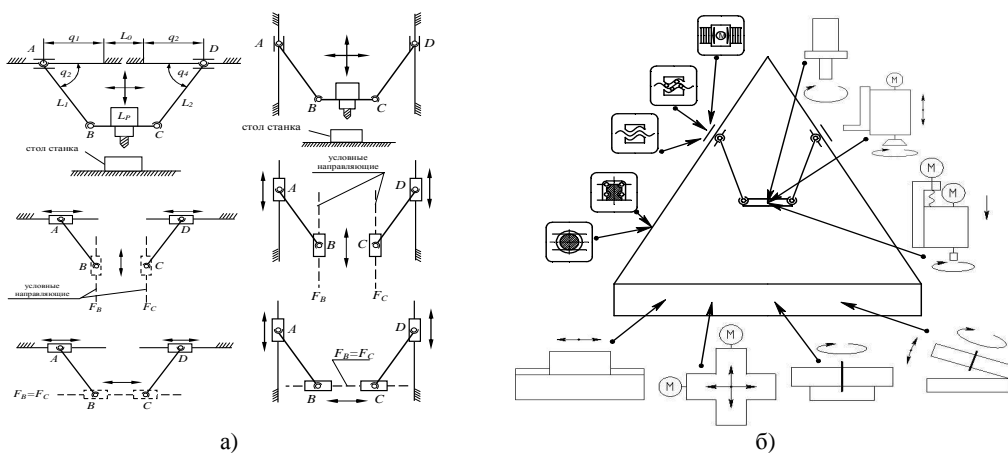


Рис. 2. Традиционное расположение МПС с параллельными приводными КП в пространстве – а) и варианты использования различных модулей в новой пирамидальной каркасной компоновке станка с МПС – б)

Rys. 2. Tradycyjne rozmieszczenie MPS z równoległymi napędami przestrzennymi a) oraz warianty wykorzystania różnych modułów w nowej szkieletowej konfiguracji makiety, b) wiertarko – frezarki z MPS, zbudowanej na modułowej zasadzie

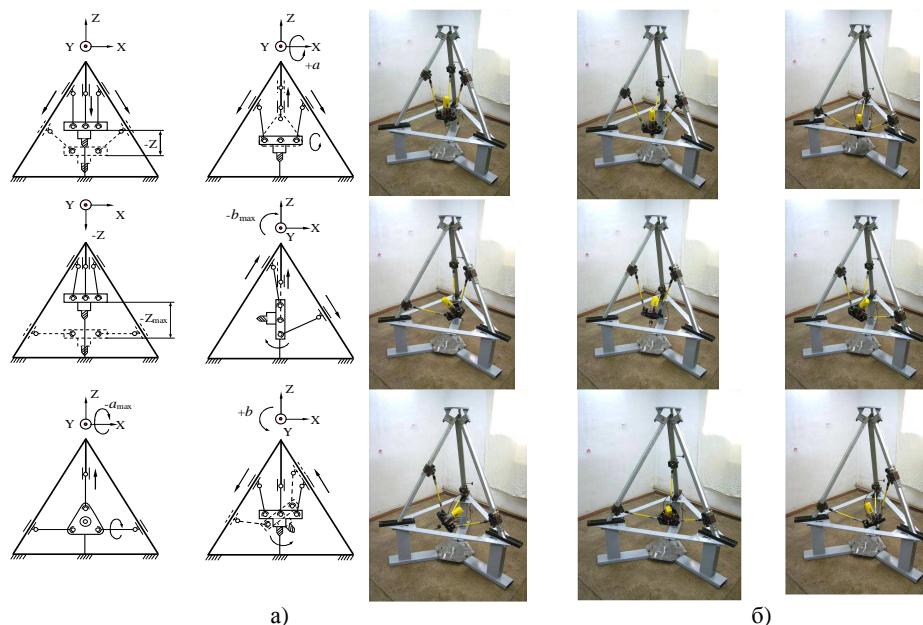


Рис. 3. Формообразующие движения – а) и характерные рабочие положения инструментальной системы в каркасной компоновке макета – б) сверлильно-фрезерного станка с МПС, построенном на модульном принципе

Rys. 3. Ruchy kształtujące a) i charakterystyczne robocze położenia systemu narzędziowego w szkieletowej konfiguracji makiety – b), wiertarko – frezarki z MPS, zbudowanej na modułowej zasadzie.

Механизмы параллельной структуры с штангами постоянной длины нашли широкое применение в сверлильно-фрезерных станках [6, 7, 8]. При увеличении степени свободы исполнительного органа возникает необходимость увеличивать количество передающих звеньев, вследствие чего возрастают габариты и металлоемкость станка. Кроме того, усложняется расчет кинематических параметров на этапе проектирования компоновки станка. Поэтому, при развитии и анализе данных систем стремятся преобразовать традиционные механизмы и компоновки в новые, в которых учитывают эти недостатки [9]. На основе треугольной формы расположения направляющих предложена принципиально новая пирамидальная компоновка и исследованы формообразующие движения нового многокоординатного сверлильно-фрезерного станка повышенной жесткости [1]. Оси механизмов поступательного движения имеют одну точку пересечения, расположенную над платформой с инструментальным ИО, и образуют правильную треугольную пирамиду. Станок имеет укороченную длину штанг, три цилиндрические направляющие и параллельно им три шарико-винтовые передачи с опорами на нижней основе.

Для дальнейших исследований и проверки характерных рабочих положений инструментальной системы был изготовлен макет сверлильно-фрезерного станка с МПС каркасной компоновки. В ходе проведенных экспериментов была проанализирована рабочая зона и предварительно оценена возможность применения модульного принципа для проектирования и построения данного типа станков.

ВЫВОДЫ.

Таким образом, учитывая конкретные требования потребителя и условия производства, можно сформировать любое, по функциональным назначением технологическое, оборудование с заранее заданными функциональными и технологическими возможностями путем рационального выбора комплекта составных модулей, который позволит значительно сократить срок технической подготовки и оперативно удовлетворить требования современного рынка сбыта станкостроительной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковальов и др.; Под ред. В.Л. Афонина. М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
2. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: Основы компоновки. – М.: Машиностроение, 1978.– 208с.
3. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987.– 232с.
4. Амиров Ю.Д. Стандартизация и проектирование технических систем. – М.: Изд-во Стандартов, 1985. – 312с.
5. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники.– М.: Изд-во Стандартов, 1989. – 240с.
6. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Скляр Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою.- Кіровоград, 2004. - 449с.
7. Афонин В.Л., Подзоров В.П., Слепцов В.В. Обрабатывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры. Под общ. ред. В.Л. Афонина. М.: – Учебное пособие., Издательство МГТУ СТАНКИН, Янус – К, 2006. – 452с.
8. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р.
9. Декомпозиция движений штанг постоянной длины в станках с параллельной кинематикой. Конф. «Научное пространство Европы-2008», Изд-во Руснаука, Харьков, с. 16-20 (www.rusnauka.com)

MODULE PRINCIPLE OF PYRAMIDAL ARRANGEMENTS OF MACHINE-TOOLS WITH PARALLEL KINEMATICS

Abstract. Ways of creation of the highly technological equipment of new generation, in particular machine tools with parallel kinematics in a basis which it is necessary modular principles of construction are shown. New frame configurations of symmetric spatial structures of multipurpose machine tools and mechanisms synthesized of a set standard and unified modules are offered.

Michail SEDYCH

Uniwersytet Technologiczny STANKIN,
Moskwa, Rosja

MODUŁOWA ZASADA PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW MAGAZYNOWYCH

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СКЛАДСКИХ СИСТЕМ

ВВЕДЕНИЕ.

Складская система является одной из основных систем машиностроительного производства, предназначена для того, чтобы принимать с транспортной системы грузопоток с одними параметрами, перерабатывать, хранить и выдавать груз на транспортную систему уже с другими параметрами и выполнять это преобразование с минимальными приведенными затратами с условием обеспечения сохранения качества.

СТРУКТУРА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ.

По организационной структуре склады делятся на децентрализованные, централизованные и комбинированные. Принцип построения складской системы выбирают исходя из экономических соображений, а проектирование ее выполняют с учетом расположения накопителей на производственных участках, годового грузопотока в цех, нормативного запаса грузов, общего числа наименований грузов одновременно хранящихся на складе и числа групп подобных грузов в номенклатуре.

Технологический процесс складирования состоит из следующих этапов [1]:

- приемка грузов и при необходимости переработка;
- размещение и хранение груза;
- отпуск груза со склада.

В процессе приемки грузов на склад в механосборочных цехах осуществляются следующие основные операции:

- разгрузка на приемную площадку;
- проверка соответствия фактически поступивших грузов по наименованию и количеству;
- проверка качества грузов;
- подготовка грузов для хранения на складе (установка на спутники, укладка в поддоны, в кассеты и т.п.);
- перемещение грузов в отделение консервации (при необходимости);
- введение сведений о поступивших грузах (в ЭВМ).

В процессе размещения и организации хранения грузов на складе предусматриваются следующие технологические операции:

- определение свободных мест хранения;
- перемещение транспортной партии к соответствующей ячейке на складе;
- укладка на постоянные места хранения;
- хранение;
- введение информации в ЭВМ о расположении каждого груза.

Отпуск грузов включает в себя следующие операции:

- поиск требуемого груза и выемка его из ячейки склада;
- перемещение грузов соответствующих наименований в зону комплектования;
- подготовка производственных комплектов;
- перемещение груза на участок расконсервации и расконсервация (при необходимости);
- перемещение производственных комплектов на приемо-сдаточную секцию склада;
- погрузка на транспортную систему;
- выдача информации о готовности к транспортированию соответствующего производственного комплекта.

Складская система с учетом технологического процесса переработки грузов имеет следующую структуру:

- автоматизированный склад в цехе и на участках для хранения полуфабрикатов, готовых изделий и технологической оснастки;
- приемо-сдаточные секции;
- отделение подготовки транспортных партий;
- отделение установки и съема полуфабрикатов;
- отделение сборки и разборки технологической оснастки;
- отделение мойки и консервации технологической оснастки;
- накопители у основного оборудования.

При организации складской системы все вышеперечисленные функции возлагаются на цеховой склад или на склад участка. Решение принимается исходя из экономических соображений.

Одним из первоначальных этапов проектирования склада участка является написание технологии переработки грузов складом и определения какие из перечисленных отделений потребуются, затем каждое из выбранных отделений проектируется в отдельности, т.е. используется модульный принцип.

Автоматизированный склад предназначен для хранения заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей, технологической оснастки и т.д.

Приёмо-сдаточная секция необходима для приема грузов на склад, а также выдачи их со склада на транспортную систему. Планировочное решение этой секции должно обеспечить удобство подъезда и стыковки с транспортными средствами, доставляющими грузы на склад и отправляющими грузы на производственные участки.

В отделении подготовки транспортных партий производится комплектация грузов, т.е. осуществляется совокупность операций по перемещению грузов с разных мест хранения в одно место временного накопления с целью формирования единой транспортной партии. Из этого отделения полуфабрикаты доставляются к основному оборудованию по транспортной системе в специальной таре, поддонах, кассетах, спутниках или без использования данных средств в удобном для транспортирования межоперационным транспортом (транспортом участка) виде.

Отделение установки и съема полуфабрикатов предназначено для установки, выверки и закрепления полуфабрикатов на спутники, укладки в кассеты, поддоны, своевременного и бесперебойного снабжения производственных участков спутниками с установленными на них полуфабрикатами, кассетами или поддонами, снятия полуфабрикатов с техоснастки после изготовления и своевременной отправки деталей на хранение на склад, а техоснастку на разборку.

Отделение сборки и разборки техоснастки предназначено для хранения оборотного запаса производственной тары, оборотного запаса элементов универсальной сборной оснастки - УСО, комплектации элементов УСО и установки их на производственную тару (спутники, кассеты, поддоны), своевременного обеспечения ею рабочих мест, разборки УСО, своевременной передачи элементов УСО на мойку и консервацию.

Отделение мойки и консервации технологической оснастки предназначено для выполнения следующих процессов: промывки, сушки и пассивирования элементов УСО и спутников; своевременной передачи промытых элементов УСО и спутников в зону хранения, в отделение сборки и разборки технологической оснастки.

Накопители у основного оборудования предназначены для размещения в них задела заготовок с целью обеспечения равномерной загрузки основного оборудования. Вместимость накопителя у основного оборудования зависит от колебаний продолжительности выполнения операций технологического процесса (пролёживание между оборудованием), а также интервалов времени поступления заготовок на производственный участок, т.е. чем значительнее колебания указанных параметров, тем больше должна быть вместимость накопителя.

Из написанной технологии переработки грузов складом определяется необходимое оборудование, его загрузка и потребное количество, после чего можно выполнять планировку склада и привязку его к технологическому оборудованию и внутрицеховому транспорту, а так же определить интенсивность поступления и выдачи грузов из каждого отделения.

Наибольшую сложность в проектировании склада представляет проектирование зоны хранения, т.к. во-первых, тяжело определить вместимости склада; во-вторых, необходимо спроектировать зону хранения таким образом, чтобы внутри склада были минимальна мощность материального потока; в-третьих, сложность определения производительности крана-штабелёра.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗОНЫ ХРАНЕНИЯ СКЛАДА И РАСЧЁТ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА КРАНА-ШТАБЕЛЛЁРА.

В современном машиностроении широкое распространение получили склады с использованием стеллажей бесполочного или каркасного типа, т.к. они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими накопителями: занимают небольшие площади, имеют высокую производительность в обслуживании, возможность увеличения вместимости накопителя за счёт увеличения числа секций стеллажей (относительно небольшие затраты). Обслуживание такого накопителя осуществляется автоматическим стеллажным краном-штабелёром - АСКШ.

На рис. 1 представлена планировка механообрабатывающего участка по изготовлению корпусных деталей дроссельных узлов Ду 42, Ду 50 и Ду 100, где 1 – автоматизированный склад с АСКШ, 2 – гибкий производственный модуль на базе станка мод. ИР-500, 3 – гибкий производственный модуль на базе станка мод. ИР-320, 4 – рабочее место оператора, 5 – отделение комплектации, 6 – отделение установки и съёма полуфабрикатов; 7 – отделение контроля; 8 – отделение мойки и сушки технологической оснастки, 9 – отделение сборки и разборки технологической оснастки, 10 – отделение сбора стружки.

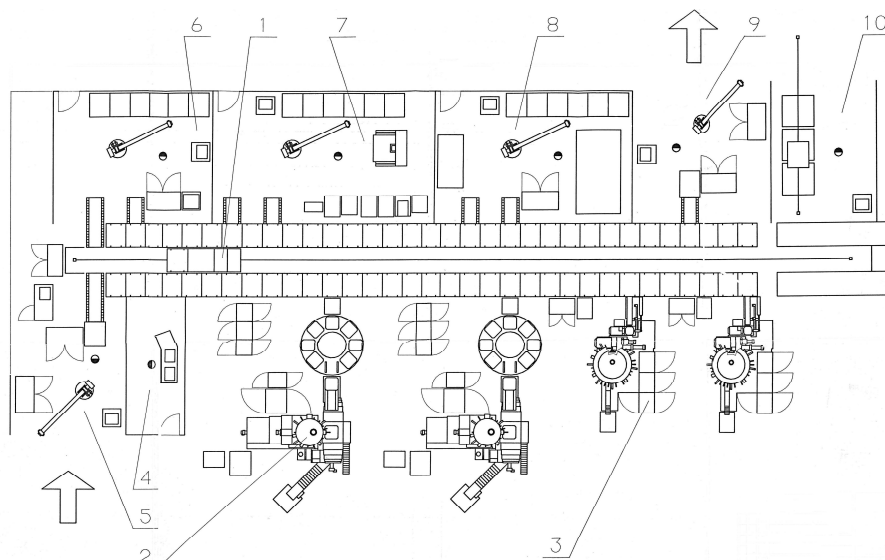


Рис. 1 Схема участка ГПС для изготовления корпусных деталей дроссельных узлов Ду 42, Ду 50 и Ду 100.

Rys. 1. Schemat oddziału FMS dla wytwarzania części korpusowych zespołów rozdzielaczy Ду 42, Ду 50, Ду 100.

Из планировки участка ГПС видно, что наиболее нагруженная часть склада там, где работает АСКШ, потому что:

1. АСКШ относится к стандартному оборудованию и выпускается серийно, т.е. его модель подбирают из стандартного ряда, выпускаемого промышленностью;
2. АСКШ должен выполнять множество функций: взаимодействие с транспортом внутрицеховым и участка; обслуживание зоны хранения склада; обслуживание секций, выполняющих подготовительные операции, такие как укладка в складскую тару или в кассеты, ориентация деталей в таре или на спутнике и т.п.;
3. АСКШ обслуживает технологическое оборудование.

Остальные отделения склада оснащаются оборудованием, которое, как правило, относится к нестандартному и серийно не выпускается, поэтому при необходимости можно получить различные конфигурации устройств или механизмов, а также широкий диапазон рабочих скоростей.

Таким образом, на производительность работы склада участка ГПС в большей степени оказывает влияние производительность АСКШ. Для определения производительности АСКШ необходимо определить время цикла. По вопросам определения времени цикла стеллажного КШ посвящены труды следующих авторов А.А. Смехова, М.Г. Бирюкова, Б.И. Когана, В.А. Егорова, О.Б. Маликова, А.И. Зерцалова и др., однако они рассчитывали время цикла АСКШ работающего на складе цеха. Склад участка имеет ряд особенностей по сравнению со складом цеха: меньшая вместимость, следовательно размеры; после выполнения цикла АСКШ остаётся у ячейки где был закончен цикл, а не возвращается в исходное положение. В связи с этими необходимо разработать методику определения времени цикла АСКШ учитывающие эти особенности. В МГТУ «Станкин» разработана такая методика. Сущность её заключается в следующем.

Цикл работы АСКШ можно условно разделить на 4 участка (рис. 2), где

1 – циклограмма передвижения АСКШ;

2 – циклограмма подъёма грузоподъёмника АСКШ;

3 – циклограмма выдвижения захвата.

V_L , V_H , V_3 – соответственно скорости механизмов передвижения, подъёма и выдвижения захвата.

На участке I циклограммы АСКШ выполняет холостой ход, т.е. грузоподъёмник движется к ячейке стеллажа, где находится тара с грузом. У АСКШ находящегося в состоянии покоя одновременно включаются приводы подъёма и передвижения. Система автоматического управления, после задания адреса прибытия грузоподъёмника, определяет необходимую рабочую скорость механизмов АСКШ (по горизонтали и вертикали соответственно) как функцию пути перемещения. Выбор рабочей скорости производится с таким расчётом, чтобы АСКШ выходил хотя бы на короткие отрезки пути на установившийся режим, а не работал исключительно в режиме пуска и торможения. Приводы отключаются по достижении АСКШ или грузоподъёмником требуемого положения. Грузоподъёмник при приёме груза должен находиться ниже груза на расстоянии h_1 - это расстояние от низа опорной поверхности тары до датчика остановки АСКШ по высоте. Напротив каждой ячейки по высоте устанавливают две пластинки: верхняя – для загрузки тары с грузом на этот ярус, нижняя – для съёма тары с этого яруса стеллажа. На участке II циклограммы АСКШ забирает тару из ячейки стеллажа. Телескопический захват грузоподъёмника выдвигается внутрь стеллажа, после чего грузоподъёмник поднимается на установочной скорости на расстояние равное $2h_1$. Тара остаётся на телескопическом захвате грузоподъёмника. Затем захват возвращается в исходное положение. На участке III АСКШ выполняет рабочий ход, т.е. движется с тарой к ячейке для выгрузки. Работа механизмов АСКШ по перемещению грузоподъёмника вдоль ячеек стеллажа на этом участке циклограммы происходит аналогично, как и на участке I. На участке IV АСКШ производит выгрузку тары (грузоподъёмник находится выше полок стеллажа на расстоянии h_1), телескопический захват грузоподъёмника выдвигается внутрь стеллажа, затем грузоподъёмник опускается на расстояние равное $2h_1$ и телескопический захват возвращается в исходное положение [2].

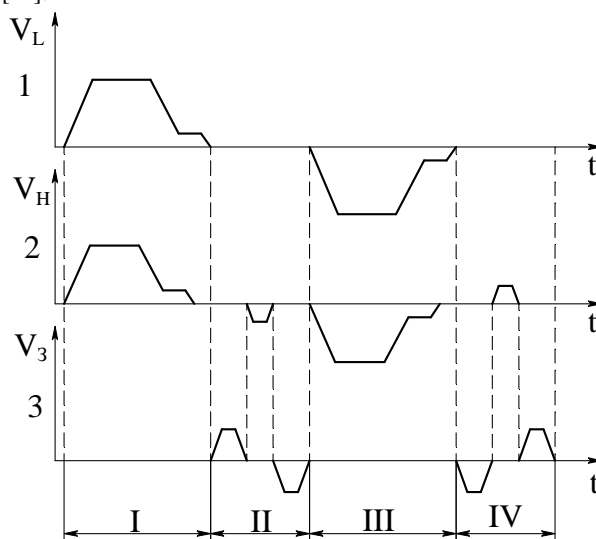


Рис. 2 Циклограммы работы механизмов АСКШ

Rys. 2. Cyklogramy pracy mechanizmów automatycznej układarki magazynowej

На участках I и III циклограммы (рис. 2) рассматривается работа механизмов передвижения АСКШ в горизонтальном и грузоподъёмника вертикальном направлениях вдоль стеллажа при поиске ячейки. Время работы механизмов перемещения зависит от длины пути перемещения тары и скоростей работы механизмов – это вероятностные характеристики. На участках II и IV циклограммы показано время работы механизмов выдвижения телескопического захвата, подъёма-опускания грузоподъёмника АСКШ при загрузке-выгрузке тары соответственно. Времена работы механизмов равны между собой и постоянны во времени, поэтому их сумму можно обозначить как Δt . С учётом вышесказанного, расчёт времени цикла АСКШ производится по формуле:

$$t_u = t_1 + t_2 + \Delta t \quad (1)$$

где t_1 – время перемещения грузоподъёмника АСКШ до ячейки стеллажа для загрузки тары;

t_2 – время перемещения грузоподъёмника АСКШ до ячейки стеллажа для выгрузки тары;

Δt – сумма времён: время выдвижения и возврата в исходное положение грузозахвата; время подъёма и опускания грузоподъёмника на установочной скорости при взятии и установки тары в ячейку стеллажа; время срабатывания приборов автоматического управления.

Время работы привода горизонтального перемещения АСКШ рассчитывается по формуле:

$$t_x = \frac{V_p}{a_{разг}} + \frac{S - \left(\frac{V_p^2}{2a_{разг}} + S_3 \right)}{V_p} + \frac{V_y - V_p}{a_{торм}} + \frac{S_3 - \left(\frac{(V_y - V_p)^2}{2a_{торм}} + S_3''' \right)}{V_y} + t_3''' \quad (2)$$

После подстановки значений в формулу (2) и меняя V_p с определённым шагом, задаваемым системой автоматического управления, определяем минимальное значение времени t_x – это время движения АСКШ по горизонтали из ячейки начала движения к ячейке прибытия на оптимальных скоростных режимах, которые будет задавать система автоматического управления.

По этой же формуле (2) определяется время перемещения грузоподъёмника АСКШ по вертикали – t_y . После подстановки значений (параметров двигателя вертикального перемещения грузоподъёмника) в формулу (2) и меняя V_p с определённым шагом, определяем минимальное значение времени t_y – это время движения грузоподъёмника АСКШ по вертикали из ячейки начала движения к ячейке прибытия на оптимальных скоростных режимах, которые будет задавать система автоматического управления.

Сравнивая времена t_y и t_x , выбираем из них максимальное – это время цикла АСКШ при перемещении грузоподъёмника из ячейки начала движения к ячейке прибытия стеллажа.

Время, затрачиваемое АСКШ на выемку и установку тары в ячейку стеллажа, а также время срабатывания приборов автоматического управления, рассчитывается по формуле:

$$\Delta t = 2 \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{V_{\theta}}{a_{разг.тз}} + \frac{S_{тз} - \left(\frac{V_{\theta}^2}{2a_{разг.тз}} + \frac{V_{\theta}^2}{2a_{торм.тз}} \right)}{V_{\theta}} + \frac{V_{\theta}}{a_{торм.тз}} \right) + \frac{V_y}{a_{разг.г}} + \frac{S_{г} - \left(\frac{V_y^2}{2a_{разг.г}} + \frac{V_y^2}{2a_{торм.г}} \right)}{V_y} + \frac{V_y}{a_{торм.г}} \right] + \Delta t_3 \quad (2)$$

ВЫВОД.

Из изложенного следует, что при проектировании складской системы используют модульный принцип, т.е. исходя из технологии переработки грузов на складе выбирают отделения (подготовки транспортных партий; установки, съёма полуфабрикатов; сборки, разборки технологической оснастки и т.д.) и в зависимости от выполняемых ими функций проектируют. Особое внимание необходимо уделить расчёту производительности АСКШ, т.к. от точности расчёта его загрузки во многом зависит принятие решения по покупке устройств и механизмов используемых в отделениях склада что непосредственно отражается на капитальных, эксплуатационных затратах на создание склада участка и в итоге на его планировке.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.П. Вороненко, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе Проектирование машиностроительного производства. ИЦ МГТУ «СТАНКИН», Янус-К, 2006 – 348 с.
2. М.И. Седых Повышение эффективности автоматизированных механообрабатывающих участков серийного производства путём рационального построения приёмо-сдаточных секций: Автореф. дис. канд. техн. наук, - Москва, 2007, 26с.

MODULAR PRINCIPLE CONSTRUCTION OF WAREHOUSE SYSTEMS

Abstract. In the article consider the questions of designing of warehouse systems of machine-building manufactures. In the article submit structure and principle of work of a warehouse. The questions detailed open of designing of a zone of a storage of a warehouse of the automated manufacture site and account of duration of a cycle automatic of the crane.

Walerij KORESCHKOW
Tatiana ALEKSIEJEWA
Aleksandr LACHOWICZ
Władimir TOCZKO
Półocki Uniwersytet Techniczny,
Nowopółock, Białoruś

STEROWANIE OPERACJĄ ZŁOŻONEJ OBRÓBKI Z WYKORZYSTANIEM DIAGRAMU SADT

УПРАВЛЕНИЕ ОПЕРАЦИЕЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ SADT – ДИАГРАММ

ВВЕДЕНИЕ.

Метод структурного анализа – один из основных методов, используемых при исследовании и разработке технических систем. Для его обозначения используют аббревиатуру SADT (Structured Analysis and Design Technique). Метод SADT предполагает последовательную детализацию анализируемой системы «сверху – вниз» [1,2].

Выделяют различные уровни рассмотрения системы. На каждом уровне представляют разложение анализируемой системы, более детализированное, но полностью эквивалентное предшествующему уровню. При этом рассматривают не только систему, но и окружающую ее среду, которая также подвергается последовательной детализации вместе с системой.

Метод SADT, как и другие универсальные методы, рекомендует, как проводить процесс анализа и как оформить его результаты, но не дает никаких рекомендаций о способах разбиения. Этот вопрос связан с особенностями каждой предметной области и требует знания сущности проблемы. Для каждой предметной области могут быть выработаны конкретные рекомендации, сокращающие объем творческой работы и повышающие тем самым производительность труда при проектировании системы или ее анализе [3, 4].

Таким образом в наиболее обобщенной формулировке назначением полученной с использованием SADT-подхода технологии является проектирование многофакторных технологических процессов, оптимизируемых по множеству параметров качества.

SADT-диаграмма уровня A0 (рис.1) сформированная на основании традиционного подхода к проектированию технологических процессов и предполагает наличие четырех основных функций: управление проектированием (блок A1), разработка варианта технологического процесса ТП (A2), оценка его себестоимости (A3) и оценка его качества(A4).

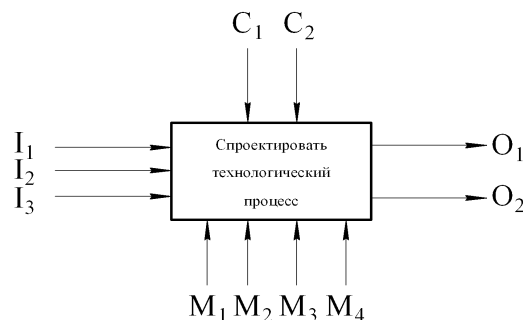


Рис. 1 - SADT-диаграмма 0-уровня технологии автоматизированного проектирования технологического процесса

Rys. 1. Diagram SADT zeropoziomowej technologii zautomatyzowanego projektowania procesu technologicznego

SADT-диаграмма. SADT-диаграмма 0-уровня, где указаны входные, управляющие данные, средства (механизмы), необходимые для решения поставленной задачи, и выходные данные, выполненная с целью разработать технологию автоматизированного проектирования рассматривает:

C₁- сроки проектирования;

C₂- производительность;

I₁- конструкторская документация на изделие;

I₂- тип станка, системы ЧПУ, характеристика инструмента и расчётная схема системы ЗИПС(заготовка-инструмент-приспособление-станок);

I₃- параметры обрабатываемого материала;

M₁- комплекс математических модели (КММ) системы ЗИПС;

M₂- моделирующий программный комплекс (МПК);

M₃- база данных (БД) материалов;

M₄-БД инструмента;

O₁- требуемый ТП;

O₂- требования на корректировку управлений или входов.

При разработке технологии проектирования подробному анализу и структуризации подвергаются функции «Формирование математических моделей» (A21) и «Моделирование ТП» (A23), результатом чего являются SADT-диаграммы уровней A21(рис. 2) и A23 (рис. 3).

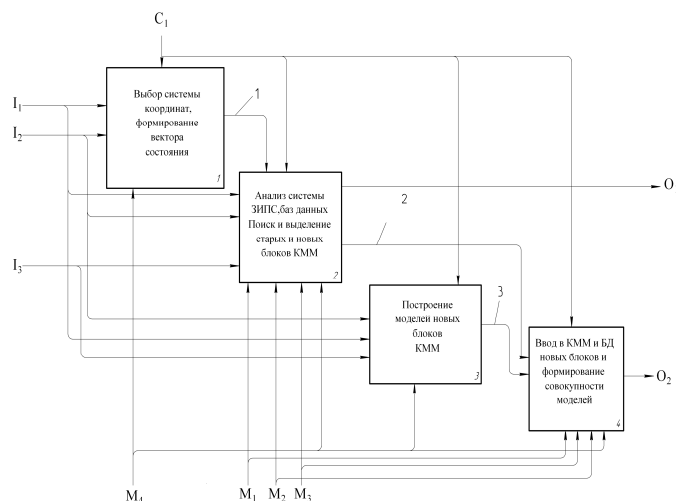


Рис. 2 - SADT-диаграмма уровня A21, 1 - система координат вектора состояния и управления; 2- имеющиеся в КММ блоки; 3- новые блоки.

Rys. 2. Diagram SADT poziomu A21: 1- system współrzędnych wektora stanu i sterowania, 2 – bloki w kompleksie matematycznych modeli, 3 – nowe bloki

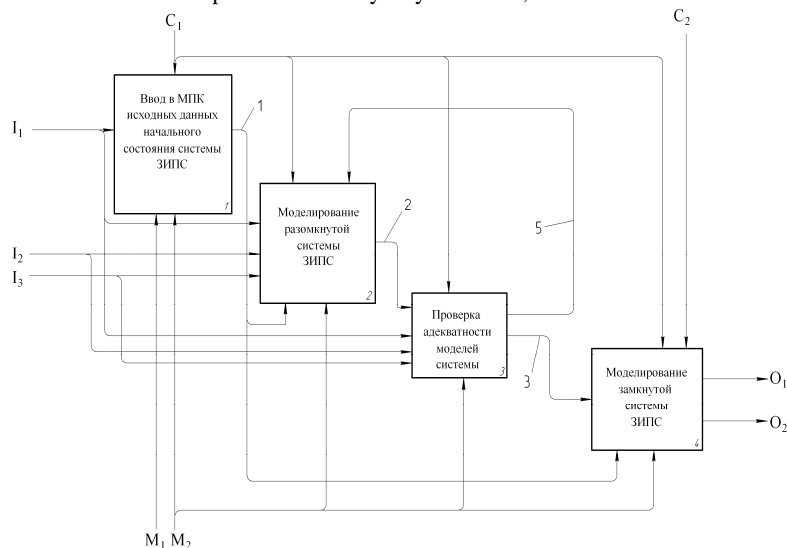


Рис. 3 - SADT-диаграмма уровня A23, 1-МПК; 2- переходные процессы; 3- модель адекватна; 4- требования корректировки условий моделирования

Rys. 3. Diagram SADT poziomu A23: 1 –modelujący kompleks programowy, 2 - procesy projektowe, 3 – model adekwatny, 4 – wymagania korekcji warunków modelowania

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

Моделирование управления на технологической операции в замкнутой системе ЗИПС (блок А234) рассмотрим на примере операции комбинированной обработки поверхностного слоя [5]. Операция совмещает термообработку с удалением дефектного поверхностного слоя резанием и упрочняющим деформированием обрабатываемой поверхности. Для временного снижения прочности дефектного слоя используется плазменный нагрев, а для удаления припуска и деформирования поверхности применяется режущий инструмент [6].

В качестве статистической модели комбинированной обработки целесообразно применять квадратичные функции, а для их построения и оценивания использовать дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ.

При использовании структурного анализа [5] комбинированной термомеханической обработки для детализации на SADT-диаграмме технологической операции – резания с предварительным плазменным нагревом удаляемого слоя следует разделять группы физико-механических и геометрических параметров качества (рис. 4).

Управлять операцией целесообразно с помощью наиболее влиятельных и наименее коррелированных с другими факторов, поэтому для обеспечения требуемых параметров наилучшим образом подходят следующие технологические факторы [6]:

C_1 – движение инструментов (L – расстояние от пятна нагрева до режущей кромки инструмента; S – скорость подачи инструмента);

C_2 – термомеханические факторы (I – сила тока плазменной дуги; V – скорость главного движения);

I_1 – исходные геометрические параметры (Sm , – волнистость; Ra – шероховатость);

I_2 – исходные физико-механические параметры (HRC – твердость ; U_n – степень упрочнения);

Малоизменяющиеся характеристики:

M_1 – размещение концентрированного источника энергии (h_c – удаление сопла плазматрона от обрабатываемой поверхности; t – глубина резания при удалении дефектного слоя);

M_2 – электромагнитные факторы (G_s – расход плазмообразующего газа; U_n – напряжение плазменной дуги)

O_1 – требуемые геометрические параметры (Sm , Ra);

O_2 – требуемые физико-механические параметры (HRC , U_n).

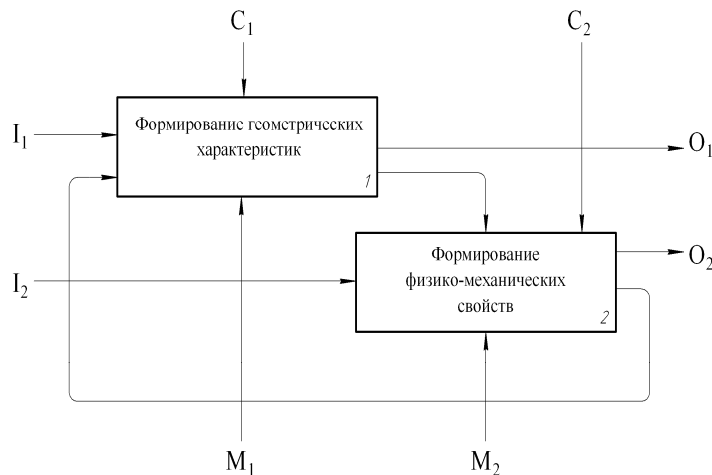


Рис. 4 – SADT-диаграмма уровня A234 для операции комбинированной обработки.

Rys. 4. Diagram SADT poziomu A234 dla operacji złożonej obróbki

В результате проведённого статистического анализа [5], установлено, что для управления геометрическими параметрами следует использовать факторы размещения и движения инструмента, а для управления физико-механическими параметрами – термомеханические факторы. (рис. 5).

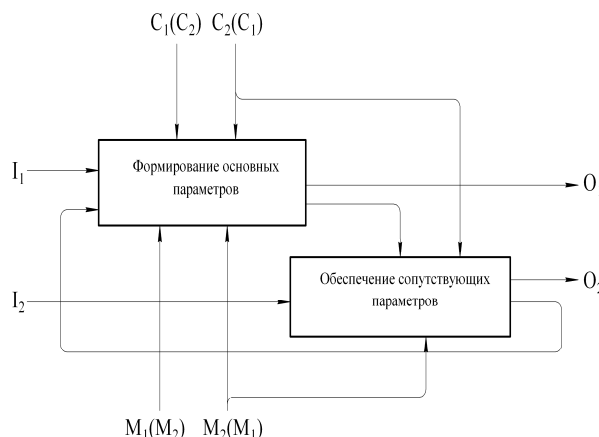


Рис. 5 - SADT-диаграмма уровня A2341 (A2342) для операции комбинированной обработки.

Rys. 5. Diagram SADT poziomu A2341 (2342) dla operacji złożonej obróbki

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом на основании статистического и структурного анализа технологических систем, особенностей автоматизированного проектирования технологических процессов и специфики управления комплексом параметров оптимизации многофакторной технологической операции можно сделать следующий вывод: сочетание статистического и структурного анализа обеспечивает управление многофакторными технологическими операциями по комплексу параметров, оптимизирует и указывает на факторы через которые следует осуществлять процесс управления и на параметры которые необходимо контролировать в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марка, Д. Методология структурного анализа и проектирования / Д. Марка, К. МакГоуэн. – М.: Мета Технология, 1993. – 240 с.
2. Окулесский, В.А. Функциональное моделирование – методологическая основа реализации процессного подхода / В.А. Окулесский. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2001. – 280 с.
3. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / под общ. ред. А.Г. Братухина. – Киев: Техника, 2001. – 728 с.
4. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ.ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополюк: ПГУ, 2002. – 268 с.

5. Корешков, В.Н. Использование структурного анализа для управления и контроля операций комбинированной обработки / В.Н. Корешков, М.Л. Хейфец, Т.А. Алексеева // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2008. – № 3. – С. 53 – 59.
6. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М.Л. Хейфец. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.

MANAGEMENT OF OPERATION OF THE COMBINED HANDLING ON THE BASIS OF SADT - DIAGRAMS.

It is shown, that use of a combination of the statistical and structural analysis provides management of multifactorial technological operations on a complex of parametres, optimises and specifies in factors through which it is necessary to perform managerial process and on parametres which are necessary for supervising in a mode of real time.

Irina RATUSZNAJA

Witalij PASIECZNIK

Uniwersytet Techniczny "Politechnika Kijowska"
Kijów, Ukraina

TRANSFORMACJA MODELU MATEMATYCZNEGO MONTOWANEGO WYROBU W MODEL O OGRANICZONYM SZEREGOWANIU TECHNOLOGICZNYCH OPERACJI MONTAŻU

ТРАНСФОРМАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СБОРОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ В МОДЕЛЬ ОГРАНИЧЕННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ СБОРКИ

ВВЕДЕНИЕ.

Последовательность сборки является наиболее важной частью плана сборочных операций. Процесс сборки значительно влияет на время всего производственного цикла, а также на стоимость изделия [1, 2, 3]. Поэтому, необходима ее оптимизация для обеспечения конкурентоспособности изготавливаемых продуктов [2, 4]. Целью этой статьи есть описание нового подхода формирования последовательностей сборки, используя ранее описанный метод трансформирования математической модели разборки в набор последовательностей сборочных операций [5]. Также, описаны преимущества нового подхода и проведено сравнение с существующими подходами и правилами, которые описаны в предыдущих статьях по данной теме [5, 6, 7].

ОБЩАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА СБОРКИ.

В данной статье представлен новый метод формирования модели сборочных операций. Исходными данными являются отношения между элементами сборочного изделия (СИ), полученные в результате анализа трехмерной модели сборочного изделия, созданной при помощи современной CAD системы [2, 3]. Общая схема преобразования связей между элементами СИ в модель последовательностей сборки представлена на рис. 1.

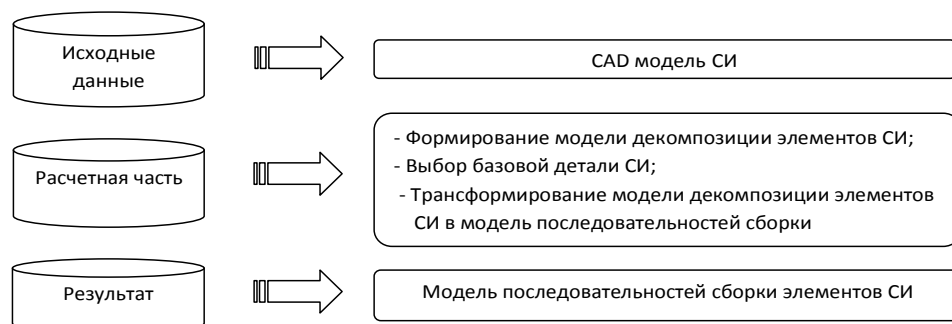


Рис. 1. Схема формирования модели последовательностей сборки элементов СИ

Rys. 1. Schemat konstituowania modelu szeregowania elementów montażu montowanego wyrobu
МОДЕЛЬ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СИ.

Отношения между элементами СИ представлены набором матриц, количество которых равно количеству значимых координатных направлений движения элементов СИ [5]. Количество столбцов и строк матрицы равно количеству деталей в СИ. Каждая ячейка матрицы является пересечением соответствующего столбца и строки, которые формально отвечают за две разные детали в СИ. Отношения между двумя деталями можно представить в десятичном виде согласно системе кодирования геометрических ограничений табл. 1.

После формирования матриц по каждому координатному направлению осуществляем декомпозицию СИ. Основные принципы декомпозиции изложены в [5]. В данной статье предложено усовершенствование ранее предложенных правил с целью последующей автоматизации всего процесса декомпозиции и инвертирования схемы разборки в совокупность последовательностей сборки элементов СИ.

Таблица1. Система кодирования геометрических обозначений
Tablica 1. System kodowania geometrycznych oznaczeń

Таблица2. Условные обозначения
Tablica 2. Umowne oznaczenia

Цифровое обозначение				Описание
$F_{G,ij}^3$	$F_{G,ij}^2$	$F_{G,ij}^1$	$F_{G,ij}^{321}$	
0	0	0	0	Отсутствие ограничения
0	0	1	1	Исчезающее ограничение
0	1	0	2	Возникающее ограничение
0	1	1	3	Неисчезающее ограничение
1	0	0	4	Неограниченное СОН, которое можно разрушить
1	0	1	5	Ограниченное СОН, которое можно разрушить
1	1	0	6	Неограниченное СОН, которое нельзя разрушить
1	1	1	7	Ограниченное СОН, которое нельзя разрушить

Условное обознач.	Диапазон	Описание
k	$1 \dots max$	Уровень декомпозиции
l	$1 \dots max$	Координатное направление
m	0; 1; 2	Направление удаления деталей
$n/n_1 \dots /n_n$	$1 \dots max$	Номер цепи и соответствующих разветвлений
p	$1 \dots max$	Приоритет удаления деталей
i	$1 \dots max$	Номер строки
j	$1 \dots max$	Номер столбца
a_{ij}	0...7	Ячейка матрицы

Порядок декомпозиции СИ. Декомпозицию СИ следует производить в соответствии с алгоритмом (рис. 2).

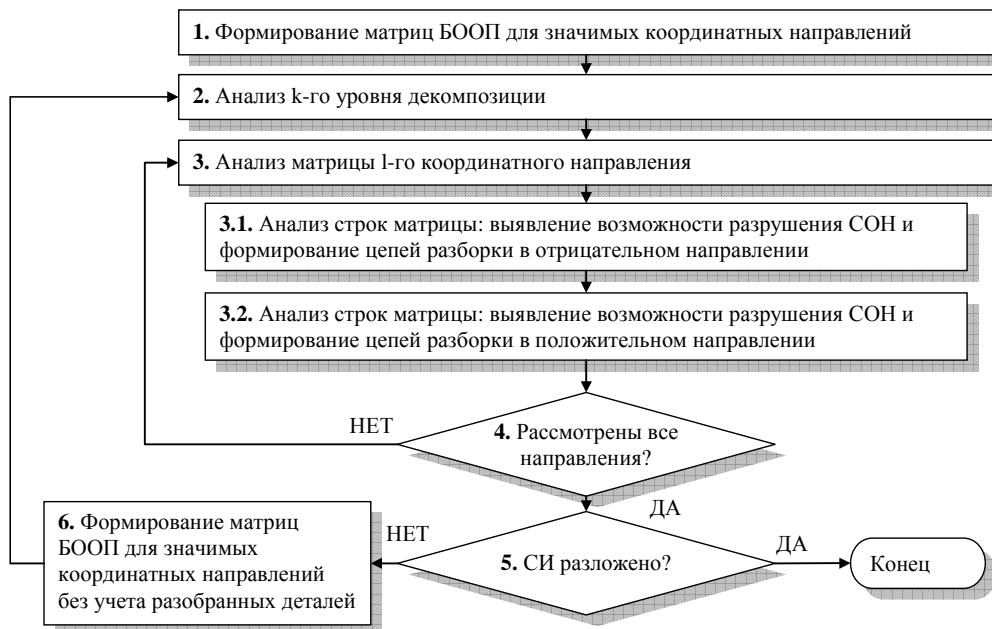


Рис.2. Алгоритм декомпозиции СИ

Rys. 2. Algorytmy dekompozycji montowanego wyrobu

1. Формирование БООП в виде матриц для значимых координатных направлений;
2. Анализ k -го уровня декомпозиции ($k=1,2,...max$);
3. Анализ матрицы l -го координатного направления ($l=1,2,...max$);
 - 3.1. Анализ i -ой строки матрицы l -го координатного направления ($i=1,2,...max$; i_{max} – равно числу элементов в СИ); \(\backslash\) цепочки элементов, выявленные при анализе строк матрицы, удалятся в **отрицательном** направлении координаты l ;
 - 3.1.1. Разрушение p -го СОН при наличии одного $F_{G,ij}^{321} = 4\{5;6;7\}$ и всех остальных $F_{G,ij}^{321} = 0$ в строке матрицы, т.е. фактическое удаление строки и соответствующего столбца матрицы;
 - 3.1.2. Выявление цепи разборки для p -го СОН: при наличии $F_{G,ij}^{321} = 0$ во всех ячейках строки матрицы, поочередное удаление строк и соответствующих столбцов матрицы;
 - 3.1.3. Анализ строк матрицы l -го координатного направления закончен, если разрушены все СОН (3.1.1) и выявлены все цепочки удаления элементов (3.1.2) в отрицательном направлении координаты l для данного уровня декомпозиции.
 - 3.2. Анализ j -го столбца матрицы l -го координатного направления ($j=1,2,...max$; j_{max} – равно числу элементов в СИ); \(\backslash\) цепочки элементов, выявленные при анализе столбцов матрицы, удалятся в **положительном** направлении координаты l ;
 - 3.2.1. Разрушение p -го СОН при наличии одного $F_{G,ij}^{321} = 4\{5;6;7\}$ и всех остальных $F_{G,ij}^{321} = 0$ в столбце матрицы, т.е. фактическое удаление столбца и соответствующей строки матрицы;
 - 3.2.2. Выявление цепи разборки для p -го СОН: при наличии $F_{G,ij}^{321} = 0$ во всех ячейках столбца матрицы, поочередное удаление столбцов и соответствующих строк матрицы;
 - 3.2.3. Анализ столбцов матрицы l -го координатного направления закончен, если разрушены все СОН (3.1.1) с последующим выявлением цепочек удаления элементов (3.1.2) в положительном направлении координаты l для данного уровня декомпозиции.
4. Проверка, рассмотрены ли все координатные направления: если «Да», то переходим к шагу 5. Если «Нет» – возвращаемся к шагу 3.
5. Проверка, разобрано ли СИ: если «Да», алгоритм имеет свое завершение. Если «Нет» – переходим к шагу 6.
6. Существование СОН, которые невозможно разрушить без предыдущего разрушения других СОН свидетельствует о наличии последующих уровней декомпозиции. На каждом следующем уровне декомпозиции элементы, удаленные на всех предыдущих уровнях, не рассматриваются. Составляются матрицы по значимым координатным направлениям из элементов, которые не попали в уже рассмотренные цепи декомпозиции. Анализ матриц проводится согласно п. 3.1 и 3.2.
 Полная схема разборки является объединением всех выявленных уровней декомпозиции, которые содержат информацию о порядке удаления элементов.
 Модель декомпозиции СИ представлена в виде массива, который формируется по алгоритму декомпозиции СИ.

МОДЕЛЬ КОМПОЗИЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СИ.

Модель декомпозиции СИ представлена в виде массива данных (табл. 3.1-3.2) и является исходными данными для преобразований, результатом которых является модель сборки СИ.

Преобразование массива декомпозиции СИ в модель сборки.

1. Номер уровня декомпозиции меняется на противоположный ($k = \max \dots 1$);
2. Номер координатного направления не изменяется ($l = 1, 2, \dots \max$);
3. Направление декомпозиции деталей меняется на противоположное ($m = 2, 1, 0$);
4. Номер цепи и ее возможных разветвлений не изменяется ($n/n_1 \dots /n_n = 1, 2, \dots \max$);
5. Приоритет разборки изменяется путем перехода от $n = 1 \dots \max$ до $n = \max \dots 1$

Преобразование массива декомпозиции СИ в модель сборки представлено на примере СИ «Регулятор потока».

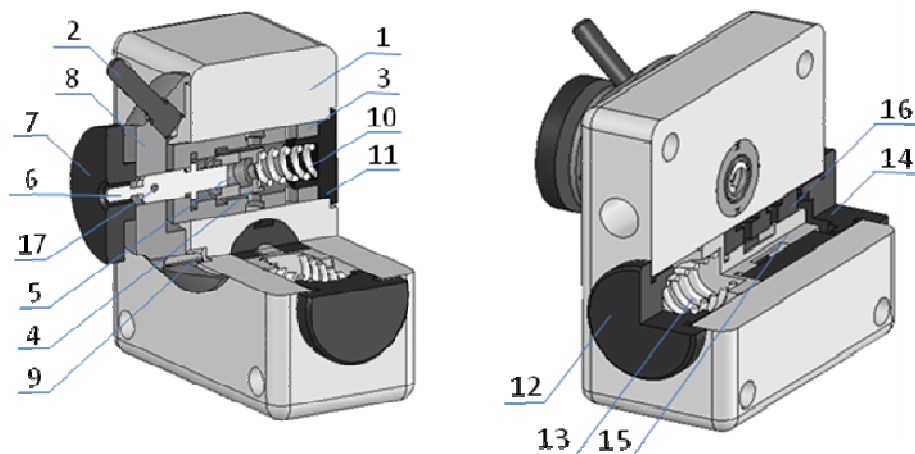


Рис.3 – СИ „Регулятор потока”: 1 – корпус, 2 – ручка, 3 – втулка, 4 – втулка-дроссель, 5 – винт, 6 – валик, 7 – контргайка, 8 – лимб, 9 – штифт, 10 – пружина, 11 – пробка, 12 – пробка, 13 – пружина, 14 – пробка, 15 – втулка, 16 – золотник, 17 – штифт

Rys. 3. Modułowy wyrób „Regulator strumieni, 1 – korpus, 2 – rękojeść, 3, 15 – tulejka, 4 – numnik, 5 – śruba, 6 - wałek, 7 – przeciwnakrętka, 8 - skala, 9, 17 – kołek, 10 – sprężyna, 11, 12, 14 – zaslepka, 13 – sprężyna, 16 – rozdzielacz. ”

Исходя из трехмерной модели, формируются БООП в виде матриц по всем значимым координатным направлениям. Процесс разборки СИ осуществляется путем поочередного разрушения СОН и выявления цепей декомпозиции элементов. Результаты преобразований в матрицах сохраняются в виде массива данных (табл. 3.1 и табл. 3.2). По правилу преобразования массива декомпозиции СИ в модель сборки, массив разборки трансформируется в массив сборки СИ.

Таблица 3.1. Первый уровень декомпозиции ↔ второй уровень композиции

Tablica 3.1. Pierwszy poziom dekompozycji ↔ drugi poziom kompozycji

<i>N_e</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
1_1	2	1	2	1/0	1
1_2	2	1	1	4/1	2
3_1	2	1	2	2/0	3
3_2	2	1	1	4/2	2
5_1	2	1	1	5/0	1
5_2	2	1	2	2/0	1
6_1	2	1	2	2/0	2
6_2	2	1	1	4/2	3
8_1	2	1	1	4/0	1
8_2	2	1	1	3/0	1

↔

<i>N_e</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
1_1	1	1	1	1/0	0
1_2	1	1	2	4/1	0
3_1	1	1	1	2/0	1
3_2	1	1	2	4/2	2
5_1	1	1	1	5/0	1
5_2	1	1	1	2/0	1
6_1	1	1	1	2/0	2
6_2	1	1	2	4/2	1
8_1	1	1	1	4/0	1
8_2	1	1	2	3/0	1

Уровень декомпозиции – это определенный этап разборки СИ, завершение которого есть обязательным условием для перехода к следующему уровню, т.е. без удаления элементов на предыдущем уровне удаление элементов СИ на всех последующих уровнях невозможно. В первую очередь рассматривается начальный уровень декомпозиции, после завершения которого, возможен переход на следующий уровень. Процесс сборки предусматривает анализ и трансформирование уровней декомпозиции от k_{max} до k_1 .

Таблица 3.2. Второй уровень декомпозиции ↔ первый уровень композиции
 Tablica 3.2. Drugi poziom dekompozycji ↔ pierwszy poziom kompozycji

<i>N_e</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
2	1	3	2	8/0	1
4	1	1	2	1/0	3
7	1	1	1	2/0	1
9	1	1	1	3/0	1
10	1	1	2	1/0	2
11	1	1	2	1/0	1
12	1	2	2	5/0	1
13_1	1	2	2	5/0	2
13_2	1	2	1	7/0	4
14	1	2	1	7/0	1
15_1	1	2	2	5/0	4
15_2	1	2	1	7/0	2
16_1	1	2	2	5/0	3
16_2	1	2	1	7/0	3
17	1	2	0	4/0	1

↔

<i>N_e</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
2	2	3	2	8/0	1
4	2	1	1	1/0	1
7	2	1	2	2/0	1
9	2	1	2	3/0	1
10	2	1	1	1/0	2
11	2	1	1	1/0	3
12	2	2	1	5/0	4
13_1	2	2	1	5/0	3
13_2	2	2	2	7/0	1
14	2	2	2	7/0	4
15_1	2	2	1	5/0	1
15_2	2	2	2	7/0	3
16_1	2	2	1	5/0	2
16_2	2	2	2	7/0	2
17	2	2	0	4/0	1

На основе массивов сборки (табл. 3.1 и 3.2), количество которых равно количеству уровней декомпозиции СИ, выведена схема сборки СИ «Регулятор потока».

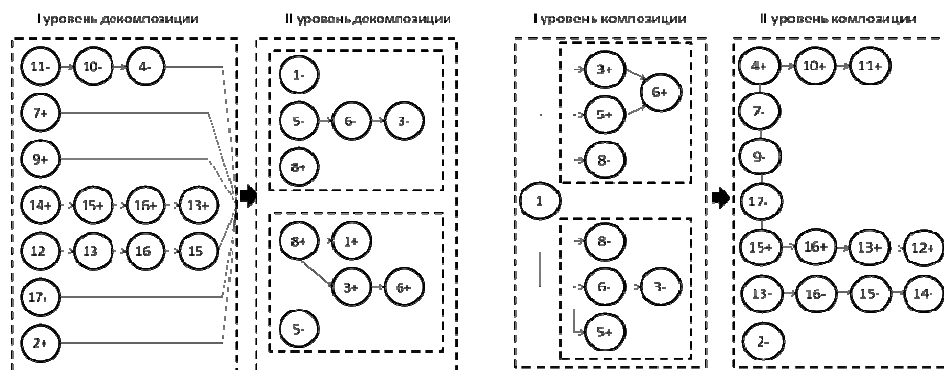


Рис.4. Схема разборки на основе массива декомпозиции СИ «Регулятор потока»

Rys. 4. Schemat demontażu na bazie zbioru dekompozycji wyrobu „Regulator strumienia”

Рис.5. Схема сборки при базовой детали a_1 на основе массива композиции СИ «Регулятор потока»

Rys. 5. Schemat montażu z bazowa częścią a_1 na bazie zbioru kompozycji wyrobu „Regulator strumienia”

ВЫВОДЫ.

Новый метод представления информации о БООП элементов, полученной из 3D модели СИ, которая, после превращений в матрицах по всем независимым координатным направлениям, и сохранения их в виде массивов данных, позволяет получать полную схему сборки изделия.

Преимуществом данного метода есть более полная схема сборки СИ по сравнению с методом преобразования на основе матриц и графов, что проиллюстрировано на примере анализа СИ «Регулятор потока».

Программная реализация метода может быть интегрирована в программу GalAss для учета всех возможных последовательностей сборки в процессе производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bourjault, A., Contribution a une approche methodologique de l'assemblage automatique: elaboration automatique des sequences operatoires, Doctoral thesis, University of Granche-Comte, 1984.
2. De Fazio, T. L. and Whitney, D. E., Simplified generation of all mechanical assembly sequences, IEEE J. Robotics Automation, 3(6), 640, 1987.
3. Homem de Mello, L. S. and Sanderson, A. C., A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences, IEEE Trans. Robotics Automation, 7(2), 228, 1991.
4. Huang, Y. F. and Lee, C. S. G., A framework of knowledge-based assembly planning, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automation, 599, 1991.
5. Пасічник В. А., Ратушна І. В. Урахування багатоваріантності схем складання на етапі розподілу операцій між обладнанням // Вісник ЖДТУ. – Житомир. : ЖДТУ, 2007. – № 1(40). – С. 51–56.
6. Пасічник В. А., Галайда Р. В., Ратушна І. В. Моделювання механоскладального виробництва у середовищі „GalAss” // Труды Одесского политехнического университета : Науч. и произв.-прак. сб. по техн. и ест. наукам. – Одесса, 2008. – Вып. 1(29). – С. 26–30.

7. Пасечник В.А., Ратушная И.В., Галайда Р.В. Ограниченная многовариантность последовательностей сборки – основа для повышения эффективности гибкого сборочного производства» // Technika i technologia montazu maszyn. – 2008. – z.72. – С.73-80.

TRANSFORMATION OF MATHEMATICAL MODEL OF ASSEMBLY PRODUCT IN A LIMITED NUMBER OF ASSEMBLY SEQUENCES

Abstract. This article describes a whole process of transformation of binary relations between parts of assembly product based on its 3D model into a full scheme of assembly. The method consists in transformation of disassembly scheme into a set of assembly sequences which are further restricted by manufacturing peculiarities. After having several assembly sequences a final decision as for the most optimal assembly sequence is taken by an expert considering manufacturing restrictions and working experience.

Siergiej GORSKI

Uniwersytet Technologiczny STANKIN
Moskwa, Rosja

MINIMALIZACJA STRUMIENIA MATERIAŁOWEGO PRZEZ RACJONALNE ROZMIESZCZENIE MODUŁÓW TECHNOLOGICZNYCH W GNIAZDACH PRODUKCYJNYCH

МИНИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТОКА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАССТАНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ УЧАСТКЕ

ВВЕДЕНИЕ.

В последние десятилетия нестабильность в общественной, политической, экологической и технологической сферах постоянно возрастает, что намного сильнее, чем раньше отражается на рынках, товарах, предприятиях и тем самым на конкурентной борьбе. Прерывистость развития, а также сложность и динамичное изменение окружающей среды привели к значительной трансформации общих рамочных условий хозяйственной деятельности предприятий, особенно для тех из них, которые работают в высокотехнологичной сфере. Многие отрасли ввиду нарастающих изменений окружающих рыночных условий и глубинных структурных преобразований в мировой экономике стоят перед лицом чрезвычайно сложных и ответственных решений.

Для традиционных технологий можно констатировать всё большее насыщение рынка и стагнацию развития этих технологий. Основные потребности потребителей в развитых индустриальных странах уже полностью удовлетворены. В результате этого, а также вследствие постоянно растущей производительности труда избыток производственных мощностей на промышленных предприятиях становится уже не эпизодическим, а всё более частым явлением.

Развитие базисных технологий во многих областях практически достигло своего предела, и в дальнейшем возможны только частичные улучшения. На рынках постоянно внедряются новые технологии, которые постепенно вытесняют базисные.

Машиностроению принадлежит одна из ведущих ролей в хозяйственной деятельности. Для машиностроительных предприятий с серийным типом производства одной из основных проблем является необходимость периодического изменения структуры производства вследствие неустойчивости номенклатуры производимой продукции, изменения серийности, морального и физического износа технологического оборудования. Такое изменение проводится в ходе реконструкции и технического перевооружения предприятий.

В условиях современного производства при проектировании предприятий с мелко- и среднесерийным типом производства перед проектировщиком стоят задачи, достигающие максимальной сложности. Научные основы технологического проектирования таких машиностроительных предприятий не получили необходимого развития, и в настоящее время не позволяют обеспечить высокую экономическую эффективность принимаемых решений. До сих пор практикуется проектирование «вручную», которое является достаточно трудоёмким и длительным процессом. Это приводит к тому, что проектировщик оперирует приблизительными моделями в ходе принятия решения или использует ранее выполненные разработки.

Одним из эффективных подходов при проектировании машиностроительных предприятий с серийным типом производства может послужить использование современных информационных технологий с опорой на методологию принятия технологических решений.

При таком подходе возможно ускорение принятия технологических решений и повышение степени детализации проработки проекта. Ещё одним доводом в пользу применения современных информационных технологий и вычислительной техники служит возможность создания большего числа вариантов проектных решений и выбора лучшего из них. Эта возможность при применении на различных этапах проектирования ведёт к существенному повышению качества проекта.

Немаловажно и то, что в условиях современного производства необходимо уделять внимание повышению конкурентоспособности выпускаемых изделий. Вопросы эти требуют зачастую серьёзных капиталовложений, что несомненно накладывает свой отпечаток на цену производимого товара, повышая его себестоимость.

В данной статье рассматривается вопрос снижения затрат на транспортирование изделий в механосборочном производстве путём оптимизации материальных потоков на производственном участке за счёт рациональной расстановки технологических модулей на нём.

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА НА ПРОИЗВОДСТВЕ.

Транспортная система оказывает большое влияние на работу всей производственной системы в целом, так как она отвечает за своевременную загрузку и разгрузку основного оборудования заготовками и инструментом, а также за выполнение складских операций. Следовательно, оптимальные материальные потоки и структура транспортной системы в значительной степени определяют загруженность оборудования технологических модулей, величину занимаемой ими площади, количество потребляемой энергии, эксплуатационные расходы, что в конечном итоге скажется на себестоимости изготовления изделий.

Назначение транспортной системы в основном следующее: доставка со склада в требуемый момент времени к требуемому производственному участку грузов; доставка, ориентирование и установка полуфабрикатов в требуемый момент времени на требуемое оборудование; съём полуфабрикатов или готовых изделий с оборудования и последующее транспортирование их в заданный адрес; отправка в накопитель грузов и выдача их из накопителя в требуемый момент времени; доставка полуфабрикатов или готовых изделий с производственных участков на склад, или же с одного технологического модуля на другой.

Технологические модули переставляются в определённых целях, например, при реструктуризации, техническом перевооружении или реконструкции существующего производства, а также при проектировании нового производства.

Пространственная компонента структуры технологической системы, задаваемая расположением станков, и отражающая группирование изделий, определяет характеристики материальных потоков. С организацией материальных потоков связано от 10% до 60% (а иногда и до 80%) затрат на изготовление конечного изделия. Очевидно, что для снижения общей суммы затрат необходимо улучшать структуру производства, в том числе, за счёт перемещения основного оборудования и перегруппирования изделий, другими словами, необходимо организовывать технологически-ориентированные структуры оборудования. При этом объективно существует потребность в разработке и совершенствовании научно-методических основ подобного рода реструктуризации.

Таким образом, вопросы, затрагивающие структуру технологических систем серийного производства в машиностроении, её анализ и синтез, возможности её совершенствования, представляют большой научный интерес.

Эффективность производственного процесса во многом зависит от способа реализации транспортирования, поскольку транспортные операции являются непосредственным выражением связей между отдельными этапами технологического процесса. Транспортная система должна своевременно и в требуемой последовательности обеспечить выполнение всех запросов основного оборудования, накопителей и склада в необходимых заготовках, полуфабрикатах и готовых изделиях.

При технологическом проектировании участков и цехов существуют различные принципы их формирования, которые зависят от номенклатуры и объёма выпуска изделий, определяющих форму организации производства.

В рассматриваемом случае, когда производственный процесс характеризуется постепенным увеличением номенклатуры изготавливаемых изделий, целесообразно использовать общность технологических маршрутов их изготовления и формировать производственные участки, применяя предметный принцип.

На основании этого принципа и предварительно определенного состава и количества технологического оборудования, используемого в цехе, определяют состав и количество станков в технологических модулях, а также состав и количество технологических модулей на производственном участке.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Современное механосборочное производство представляет собой сложную динамическую систему. Процесс его проектирования включает в себя четыре последовательно выполняемых этапа: структурно-функциональный, алгоритмический, параметрический и планировочный. В случае масштабности проектной задачи процесс синтеза окончательного результата может включать в себя несколько циклов с различной детализацией данных и уровнем принимаемых решений, каждый из которых будет содержать в себе все указанные этапы. Например, в случае проектирования цеха, таких цикла – два: результатом первого служит компоновка цеха, второго – планировки участков.

Суть структурно-функционального этапа заключается в синтезе структурной модели, которая отражает состав, тип и взаимосвязь элементов, и функциональной модели, учитывающей свойства элементов и системы, необходимые для выполнения ими своего служебного назначения. При проектировании технологической системы производственного подразделения на этом этапе выполняется: формирование совокупности технологических процессов, закладываемых в основу процесса проектирования, определение технологического оборудования, выбор состава технологических модулей, выбор состава и количества станков по модулям и т.д.

Алгоритмический этап проектирования включает в себя составление алгоритмической модели, содержащей взаимные связи между элементами и системами в процессе производства. На данном этапе проектирования выполняется выбор дисциплины обслуживания заготовок, составление расписаний для подтверждения достаточности рассчитанного количества оборудования (при необходимости).

На параметрическом этапе проектирования производится определение количественных значений взаимосвязей между отдельными физическими параметрами элементов системы. Параметрические модели представляют собой уравнения материально-энергетического баланса в различных проявлениях. На данном этапе рассчитываются характеристики потоков: материальных, энергетических, информационных. На основе этих расчетов определяется состав и количество вспомогательного оборудования и обслуживающих систем, накладываются требования на инфраструктуру производства.

На окончательном, планировочном этапе решается задача размерных связей между отдельными элементами системы. Модели этого этапа аналогичны структурным, но отношения между элементами оцениваются в метрике евклидова пространства. Результатом этапа служит планировочное решение.

Следует отметить, что каждый этап синтеза технологической системы производства можно разделить на множество подэтапов, обладающих собственными ограничениями. Вследствие этого сам процесс проектирования можно осуществить двумя принципиально различными путями:

а) с введением в процесс обратных связей, позволяющих вернуться на предыдущий этап в случае непрохождения ограничений;

б) с разбиением этапов на множество проектных задач, выстраиваемых затем по порядку, уменьшающему или исключаяющему необходимость возврата.

У рассматриваемых технологических систем серийного производства существует ряд особенностей, не присущих единичному и массовому производству. Речь идёт о необходимости структуризации совокупности технологических процессов изготовления изделий, входящих в программу выпуска. Структуризация такого рода позволяет повысить организационный уровень прочих составляющих технологической системы и понизить время, связанное с переходом от изготовления одного вида изделия к изготовлению другого.

Процесс структуризации совокупности технологических процессов называется унификацией. В ходе унификации осуществляется переход от множества единичных ТП к меньшему унифицированным ТП.

МИНИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТОКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ УЧАСТКЕ.

Критерием для оценки при выборе оптимальной схемы расположения технологических модулей принимается минимум мощности грузопотока или материального потока.

Организация оптимальных грузопотоков включает в себя решение таких задач, как сокращение общей длины транспортных путей, пересечений и разветвлений, исключение транспортных петель и возвратных трасс, обеспечение ремонтпригодности транспортных средств. Это приводит к снижению капитальных и эксплуатационных затрат.

Для оптимальной схемы расстановки технологических модулей на производственных участках потребуется меньшее количество транспортных средств, сократятся простои оборудования и улучшится управление производством. Также оптимизация расстановки технологических модулей на производстве позволяет сократить энергетические затраты.

Для достижения данной цели, то есть для сокращения мощности материального потока путём применения рациональной расстановки технологических модулей на производственном участке, необходимо применить методы оптимизации в процессе выбора наиболее рациональной схемы расположения технологических модулей на предметных участках.

В качестве подходящих для выбора наиболее рациональной схемы расположения технологических модулей на предметных участках методов оптимизации, методов математического (имитационного) моделирования рассматриваются следующие методы:

1. Методы перебора, симплекс-метод, динамическое программирование;
2. Метод графов;
3. Метод Монте-Карло.

Выбор рациональной схемы расположения технологических модулей на предметных участках проводится по разработанной методике, основанной на положениях метода графов.

Исходными данными для такого расчёта являются номенклатура обрабатываемых деталей, технология изготовления каждого наименования деталей (представляется в виде последовательности технологических модулей, на которых проводится конкретный вид механической обработки), величина материального потока или грузопотоков в тоннах для каждого наименования обрабатываемых деталей.

Эти данные сведены в соответствующую таблицу:

Номер детали	Технологический маршрут	Грузопоток, т
1	3 – 6 – 1 – 4 – 5	3
2	4 – 2 – 6 – 5	1
3	2 – 5 – 4	5
4	1 – 3 – 2	2

Для построения матрицы схемы расположения технологических модулей строят граф материальных связей между технологическими модулями (Рис.1).

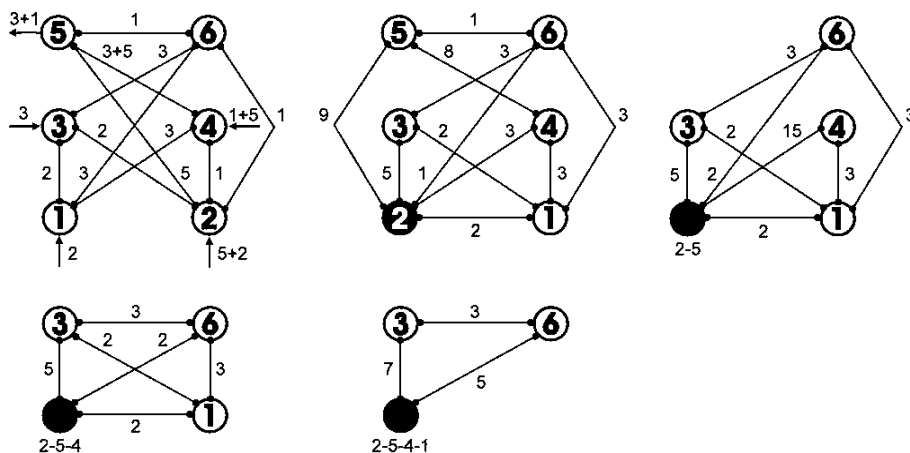


Рис. 1. Графы материальных связей между технологическими модулями.

Rys. 1. Grafy relacji materiałowych między modułami technologicznymi.

Ребра графа отображают величину грузопотока между отдельными модулями. Рассматривается построение матрицы, когда вход и выход с производственного участка совпадают. В этом случае сокращается количество холостых пробегов внутрицехового транспорта.

На основании анализа полученных результатов расчетов определяют модуль с наибольшим потенциалом, который располагают на первой позиции. С учетом размещения этого модуля на

первой позиции преобразуется граф. В соответствии с полученными значениями потенциалов заполняют матрицу схемы расположения технологических модулей на производственном участке.

После заполнения матрицы проводят проверку на достижение минимальной мощности грузопотока. Для этого в правую часть каждой клетки матрицы записывают согласно технологическому маршруту величину, характеризующую изменение энергии грузопотока. При этом пользуются следующими правилами: если технологические модули, с которых начинается грузопоток, расположены в соседнем ряду, то проставляют величину грузопотока для рассматриваемого технологического маршрута; если они расположены через один ряд, то записывают отрицательную величину грузопотока; если через два ряда, то удвоенную отрицательную величину грузопотока и так далее; если модули по технологическому маршруту находятся в одном ряду, то записывают удвоенную величину грузопотока.

После расчета энергии грузопотока по всем технологическим маршрутам и заполнения ориентированной по входу (выходу) матрицы, определяют суммарную величину энергии каждого технологического модуля, которая записывается в правой части клетки матрицы, и суммированием энергии по всем технологическим модулям находят энергию грузопотока построенной схемы расположения технологических модулей на производственном участке.

Для проверки оптимальности схемы расположения технологических модулей производят перестановку модуля, имеющего наименьший потенциал, и для вновь построенной матрицы по вышерассмотренной методике определяют энергию и сопоставляют ее с первоначальной.

Если энергия меньше, то первоначально построенная схема рациональнее, а если больше, производят дальнейший поиск в той же последовательности до тех пор, пока не получат схему с наибольшей потенциальной энергией грузопотока.

ВЫВОДЫ.

В условиях автоматизированного проектирования возможен автоматический поиск оптимальной схемы расположения технологических модулей на производственном участке по алгоритму, в который заложены изложенные выше положения, а также положения упомянутых выше методов математического моделирования.

Разработанную методику построения схем расположения технологических модулей на предметных участках, в основе которой лежат положения всех указанных выше методов оптимизации, можно использовать не только при проектировании гибких автоматических участков, но и при их эксплуатации за счёт перемонтажа станков при изменении номенклатуры изделий, обеспечивая тем самым планировочную гибкость производства.

Организациями-проектировщиками и технологическими отделами машиностроительных предприятий может быть использовано программное обеспечение, разработанное на основе предлагаемой методики, для целей проектирования производственных участков, а также при реструктуризации, техническом перевооружении или реконструкции существующего производства.

MINIMIZATION OF CAPACITY OF THE MATERIAL FLOW BY MEANS OF RATIONAL ARRANGEMENT OF TECHNOLOGICAL MODULES ON THE PRODUCTION SECTION

Abstract. There is a description of the question of a decrease in costs for transportation of products in machine-assembling production in this article. This decrease is based on the procedure, which is offered by the author and is founded on optimization of material flows on a production section due to a rational arrangement of the technological modules on it. The developed procedure of construction of schemes of an arrangement of the manufacturing equipment on production sections can be used not only at designing of cell-type systems, but also at their operation due to rearrangement machines under conditions of changing of listed products, providing thus a planning flexibility of production.

Krzysztof TUBIELEWICZ
Marek KĘSY
Politechnika Częstochowska
Częstochowa, Polska

ALGORYTMY GENETYCZNE W INŻYNIERII PRODUKCJI

GENERIC ALGORITHMS IN PRODUCTION ENGINEERING

WPROWADZENIE

Działalność rynkowa przedsiębiorstw produkcyjnych uwarunkowana jest silną konkurencją, wysokimi wymaganiami odbiorców oraz ciągłymi wahaniami popytu. Takie warunki działalności wymuszają konieczność stosowania rozwiązań techniczno – organizacyjnych, które pozwolą na łatwe i szybkie dostosowanie się do zmieniających się wymagań. Zarządzanie produkcją obejmując szereg działań podejmowanych przed oraz w czasie wytwarzania, w zakresie tzw. operatywnego sterowania produkcją zajmuje się m.in. procedurą planowania zadań produkcyjnych lub operacji technologicznych oraz modyfikacji działań, w przypadkach pojawiających się zakłóceń pracy systemu wytwórczego.

PLANOWANIE I STEROWANIE PRODUKCJĄ

Zakres i stopień szczegółowości procesu planowania i sterowania produkcją uzależniony jest od aktualnej sytuacji przedsiębiorstwa, jego poziomu technicznego i organizacyjnego. Planowanie produkcji sprowadza się do ustalenia programu działań, harmonogramu prac wytwórczych oraz zapotrzebowania na zasoby produkcyjne. Z kolei w zakresie pojęciowym sterowania produkcją rozumiane są czynności planowania, sterowania, organizowania i kontrolowania rzeczywistego obiegu wyrobów i jego informacyjnych uwarun-

kowań. Pojęciem podrzędnym w stosunku do sterowania produkcją jest sterowanie przepływem produkcji, ograniczone do procedur planowania, sterowania, kontroli i ewentualnie korygowania przepływu materiałów i wyrobów przez systemy produkcyjne w odpowiedniej ilości i czasie.

Sterowanie produkcją nie może odbywać się według przypadkowych reguł, musi być oparte na określonych metodach i algorytmach podstępowania. Efektywność procedur sterowania produkcją uzależniona jest w dużej mierze od szczegółowości planowania operatywnego, którą rozpatrywać można w aspekcie parametrów: czasu, przedmiotów pracy oraz środków pracy. Do prawidłowego określenia jakimi zadaniami produkcyjnymi i w jakich jednostkach czasu obciążone zostaną stanowiska produkcyjne służą harmonogramy operacyjne. Ich tworzenie stanowi ważny etap zarządzania produkcją, od którego zależy jakość rozplanowania wykonywania poszczególnych zadań w czasie. Procedury planowania i sterowania procesami wytwarzania uzależnione są głównie od charakteru produkcji. W przypadku produkcji na zamówienie, wielkość oraz procedury planowania i sterowania procesami produkcji, uzależnione są od napływających w różnych terminach zleceń stanowiących podstawę wytworzenia wyrobów - w zamówionej ilości, asortymencie i określonym czasie wykonania. Brak „stabilizacji” wytwórczej powoduje, iż plany produkcyjne i harmonogramy operacyjne produkcji ulegają częstym korektom wynikającym głównie z konieczności dokonania zmian w obciążeniu stanowisk produkcyjnych. Może to być m.in. wynikiem napływu nowego priorytetowego zlecenia, zakłócenia wynikającego z awarii obrabiarki itd., co powoduje konieczność tworzenia harmonogramów wykazujących cechy dynamicznej zmienności [4].

TECHNIKI PLANOWANIA I STEROWANIA PRODUKCJĄ

W przypadku produkcji na zamówienie, w zakresie procedur planowania następuje wyznaczenie kolejności wykonywania zleceń produkcyjnych z określonego zbioru oczekujących. Z pozoru wydawać się może, że problematyka ustalenia kolejności wykonania jest prosta do rozwiązania. W rzeczywistości jednak jest to zagadnienie wieloaspektowe, określone m.in. przez: różnorodną i zmienną w czasie liczbę realizowanych zleceń, ograniczenia wytwórcze systemu produkcji, brak możliwości zmiany kolejności wykonania operacji. Tego typu zmiennych i zakłóceń jest w rzeczywistości bardzo dużo, dlatego też opracowanie harmonogramu jest zagadnieniem złożonym.

Decydowanie o kolejności wykonania zadań produkcyjnych w systemach lub operacji na stanowiskach produkcyjnych, jest jednym z podstawowych zagadnień sterowania przepływem produkcji. Wybór zlecenia lub operacji spośród zbioru oczekujących, stanowi nadanie najwyższego stopnia pilności – priorytetu. Planowanie obciążeń stanowisk produkcyjnych odbywa się przez bardziej lub mniej świadome, sukcesywne nadawanie priorytetów zleceniom i / lub operacjom produkcyjnym. W praktyce procesy opracowywania harmonogramów produkcyjnych oparte być mogą o procedury heurystyczne (np. reguły priorytetu), algorytmy optymalizacyjne oraz metody sztucznej inteligencji.

Reguła priorytetu jest funkcją lub przyjętą zasadą, która każdemu zadaniu produkcyjnemu oczekującemu na wykonanie przyporządkowuje wielkość zwaną wskaźnikiem priorytetu i wybiera jedno z minimalną lub maksymalną wartością tego wskaźnika, określając tym samym jego wykonanie w pierwszej kolejności. Reguły priorytetu to przyjęte zasady nadawania priorytetów decydujących o kolejności wykonania zadań produkcyjnych oczekujących na wykonanie w określonym momencie lub przedziale czasu. Zadaniem reguł priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji jest ustalenie odpowiedniej kolejności wykonywania operacji produkcyjnych na stanowiskach i wpływanie w ten sposób na uzyskiwanie określonych efektów pracy systemu produkcyjnego. W ogólnym przypadku różne reguły priorytetu dają różne kolejności wykonywania operacji, a tym samym różne efekty działalności. Zastosowanie wybranej reguły priorytetu umożliwia zrealizowanie określonych celów, jak np. przyspieszenie wykonania określonych zleceń, skracanie cykli produkcyjnych, zmniejszenie obciążenia środków pracy itp. W literaturze znanych jest ponad 100 różnych reguł priorytetu wykorzystujących różne informacje i opisujące przebieg procesu produkcji w systemie produkcyjnym [6, 7].

Oprócz reguł priorytetu do rozwiązywania problemów harmonogramowania stosuje się także przybliżone metody analityczne, które pozwalają na sporządzenie harmonogramu produkcji na podstawie mniej lub

bardziej złożonego **algorytmu optymalizacyjnego**. Ze względu na złożoność obliczeniową wymagają one zazwyczaj przyjęcia uproszczeń w modelu matematycznym, które z kolei decydują o ich efektywności i skuteczności optymalizacyjnej. Do najbardziej znanych algorytmów optymalizacyjnych zaliczyć można m.in.: algorytm Johnsona, Palmera i Gupty [1].

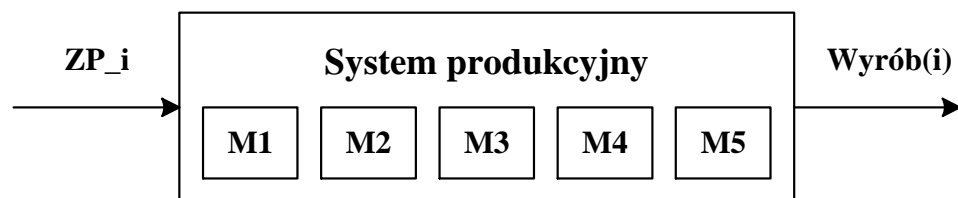
Stosowane metody sztucznej inteligencji bazują na założeniu naśladowania działań istot żywych, jak np. tzw. inteligencji roju (algorytmy mrówkowe) lub nauki o genetyce (algorytmy genetyczne). **Algorytmy genetyczne** stanowią próbę wykorzystania mechanizmów znanych z teorii ewolucji żywych organizmów oraz nauki o genetyce do poszukiwania optymalnych rozwiązań stworzonych przez człowieka problemów. Procedurę poszukiwania rozwiązania i analizy uzyskanego zbioru możliwości można porównać do mechanizmów dostosowawczych zachodzących w populacji organizmów żywych. Przypisując poszczególnym rozwiązaniom ich indywidualne oceny przystosowania do postawionych warunków, można stymulować procesy ewolucyjne reprodukując w kolejnych „pokoleniach” lepsze spośród rozwiązań, eliminując natomiast te, które słabo spełniają zadane kryteria. W teorii algorytmów genetycznych zakłada się, że rozwiązanie problemu decyzyjnego nie jest nierozdzieloną całością, lecz sumą pewnych elementów składowych. Pozwala to na wzbogacenie ewolucyjnej reguły „silniejszy wygrywa” o analogię do procesu reprodukcji kodu genetycznego, a konkretnie o możliwość zestawiania ze sobą idei cząstkowych i otrzymywania w ten sposób innowacyjnych rozwiązań rozpatrywanego problemu. Od strony technicznej wymaga to przyjęcia sposobu przekształcania konkretnego rozwiązania w jednoznacznie je identyfikujący ciąg kodowy. Tak zdefiniowane ciągi kodowe można poddawać przetwarzaniu, otrzymując tą drogą inne - reprezentujące nowe rozwiązania. Dla oceny skuteczności działania metod optymalizacji stosuje się określone kryteria tej oceny, wyznaczając odpowiadające tym kryteriom wskaźniki [5].

BADANIA EFEKTYWNOŚCI METOD PLANOWANIA PRZEBIEGIEM PRODUKCJI

W artykule zaprezentowano możliwość wykorzystania metodyki algorytmu genetycznego w zakresie planowania pracy systemu produkcji, porównując efektywność przyjętej procedury obliczeniowej z rezultatami otrzymanymi w wyniku zastosowania algorytmów przybliżonych (Palmera i Gupty) oraz przyjętych reguł priorytetu (najkrótszego i najdłuższego czasu operacji oraz największej i najmniejszej całkowitej stanowiskowości).

Obliczenia planistyczne prowadzone zostały w zakresie sekwencyjnej pracy gniazda produkcyjnego dla przyjętych, deterministycznych i statycznych warunków produkcji i zamkniętego zbioru oczekujących na wykonanie zadań produkcyjnych.

Przedstawiona procedura opracowania harmonogramu produkcji za pomocą metody algorytmów genetycznych i quasi optymalizacyjnych oraz reguł priorytetu odnosi się do prostego problemu ustalenia kolejności wykonania 3 zadań produkcyjnych oczekujących na realizację w przedmiotowym gnieździe wytwórczym, (rys.1).



Rys.1. Schemat systemu produkcyjnego

Poszczególne zadania produkcyjne charakteryzują się jednakowymi sekwencjami (co do rodzaju i kolejności) wykorzystywanych środków pracy, zaś elementami różnicującymi i jednocześnie stanowiącymi pod-

stawę obliczeń są czasy obciążenia poszczególnych stanowisk t_{ij} , których wartości przedstawiono w tabeli 1.

Analiza skuteczności metod optymalizacji przeprowadzona została w oparciu o sekwencyjnie wyznaczone terminy realizacji zadań, określonych na podstawie ustalonych momentów rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych operacji produkcyjnych. Ogólne zależności dotyczące wyznaczenia czasów określone są jako [2]:

$$tr_{ij} = \max(tz_{(i-1)j}; tz_{i(j-1)}) \quad tz_{ij} = tr_{ij} + t_{ij}$$

gdzie: tr_{ij} , tz_{ij} – terminy rozpoczęcia i zakończenia j-tej operacji i-tego zadania produkcyjnego,
 t_{ij} – czas obciążenia stanowiska wytwórczego (j) związany z realizacją i-tego zadania produkcyjnego.

Tabela 1: Czasy obciążenia stanowisk wytwórczych pracujących w gnieździe produkcyjnym

Stanowisko wytwórcze	Zadania produkcyjne		
	ZP_1	ZP_2	ZP_2
M1	5	7	2
M2	6	9	2
M3	9	21	4
M4	11	14	2
M5	18	14	6

W procedurze wyznaczenia kolejności realizacji zadań produkcyjnych za pomocą algorytmu genetycznego, ciąg kodowy tworzą liczby będące numerami zadań. Specyfika ciągu kodowego powoduje konieczność zastosowania operatora krzyżowania porządkowego, które gwarantuje jednoznaczność interpretacyjną tworzonych ciągów kodowych. Przyjętą funkcją przystosowania weryfikującą efektywność optymalizacyjną algorytmu genetycznego jest sumaryczna długość cykli produkcyjnych oczekujących na wykonanie zadań [3].

Efektem zastosowania algorytmu genetycznego w zakresie ustalenia kolejności wykonania zadań produkcyjnych w gnieździe, jest tworzona w kolejnych iteracjach obliczeniowych lista z nadanymi numerami zadań. Wyznaczone wartości funkcji przystosowania, w zakresie analizowanej iteracji, stanowią podstawę wyboru rodziców następnego pokolenia. Wybrane ciągi rodziców poddane są „operacjom genetycznym”, tzn. krzyżowaniu i mutacji. Dla analizowanego przypadku, w wyniku zastosowania algorytmu genetycznego, ustalona została kolejność wykonania zadań produkcyjnych: ZP_3, ZP_1, ZP_2. Przykładowy ekran aplikacji obliczeniowej wykorzystującej metodykę algorytmów genetycznych prezentuje rys.2.

```

Iteracja 2
Dwa najlepsze ciagi z 2 iteracji:
Dla ciagu: 3 1 2 wartość funkcji celu wynosi: 72
Dla ciagu: 1 3 2 wartość funkcji celu wynosi: 73

Rodzic 1: 3 2 1 , wartość Fc: 85
Rodzic 2: 3 1 2 , wartość FC: 72
*****
Potomek 1: 3 1 2 , wartość Fc: 72
Potomek 2: 1 3 2 , wartość Fc: 73
Potomek 3: 2 1 3 , wartość Fc: 89
Potomek 4: 3 1 2 , wartość Fc: 72
Potomek 5: 1 3 2 , wartość Fc: 73
Potomek 6: 1 2 3 , wartość Fc: 76
Potomek 7: 1 2 3 , wartość Fc: 76
Potomek 8: 1 3 2 , wartość Fc: 73
Potomek 9: 1 2 3 , wartość Fc: 76
Potomek 10: 1 3 2 , wartość Fc: 76

```

Rys.2. Procedura wyznaczenia kolejności wykonania zadań produkcyjnych wykorzystująca metodykę algorytmów genetycznych

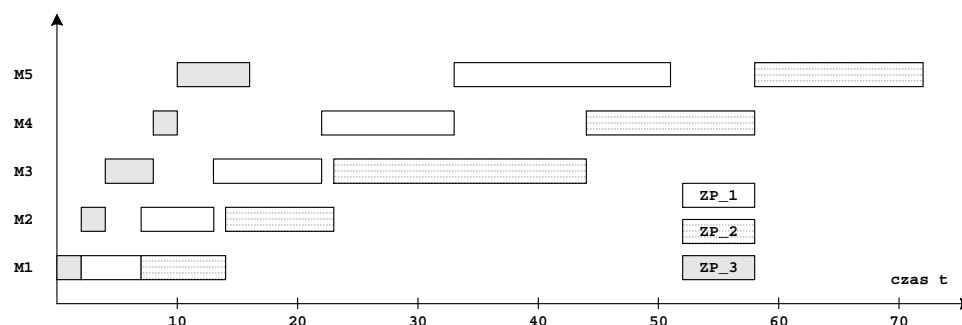
Sekwencja wyznaczonych terminów rozpoczęcia tr_{ij} i zakończenia tz_{ij} operacji produkcyjnych, dla wyznaczonej kolejności realizacji zadań produkcyjnych i deklarowanych czasów t_{ij} , przedstawiona została na rys.3, zaś odpowiadający jej wykres obciążeń środków wytwórczych, w postaci wykresu Gantt'a, na rys.4.

$$t_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} ZP_1 & ZP_2 & ZP_3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 5 & 7 & 2 \\ 6 & 9 & 2 \\ 9 & 21 & 4 \\ 11 & 14 & 2 \\ 18 & 14 & 6 \end{bmatrix} & \begin{matrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{matrix} \end{matrix}$$

Sekwencja wykonania: 3, 1, 2

$$tr_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} ZP_3 & ZP_1 & ZP_2 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 2 & 7 \\ 2 & 7 & 14 \\ 4 & 13 & 23 \\ 8 & 22 & 44 \\ 10 & 33 & 58 \end{bmatrix} & \begin{matrix} ZP_3 & ZP_1 & ZP_2 \\ \begin{bmatrix} 2 & 7 & 14 \\ 4 & 13 & 23 \\ 8 & 22 & 44 \\ 10 & 33 & 58 \\ 16 & 51 & 72 \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix}$$

Rys.3. Sekwencja terminów rozpoczęcia i zakończenia operacji produkcyjnych dla wyznaczonej kolejności realizacji zadań produkcyjnych



Rys.4. Wykres Gantt'a dla wyznaczonej kolejności realizacji zadań produkcyjnych

W procedurze wyznaczenia kolejności wykonania zadań produkcyjnych wykorzystano algorytmy Palmera i Gupty [1]. W przypadku algorytmu Palmera podstawą ustalenia kolejności są obliczone wartości wskaźnika SI_i , obliczone jako:

$$SI_i = \sum_{j=1}^M (M - 2 \cdot j + 1) \cdot t_{i, M-j+1}$$

gdzie: M – liczba stanowisk w systemie produkcyjnym, t_{iM} – czas jednostkowy operacji i -tego zadania na stanowisku M , $t_{i, M-j+1}$ – czas jednostkowy operacji i -tego zadania na stanowisku $M-j+1$, j – liczba operacji realizowanych w zakresie zadania produkcyjnego.

Kolejność wykonania zadań ustalona została zgodnie z założeniami algorytmu, według kolejności określonej przez ciąg malejących wartości wskaźnika SI_i . Z kolei zastosowanie algorytmu Gupty oparte jest o obliczane wartości wskaźnika G_i , obliczanego jako:

$$G_i = e_i / \min(t_{ij} + t_{ij+1})$$

$$\text{gdzie: } e_i = \begin{cases} -1 & \text{dla } t_{i1} < t_{iM} \\ +1 & \text{dla } t_{i1} \geq t_{iM} \end{cases} \text{ dla } 1 \leq j \leq M-1$$

Utworzony ciąg w kolejności wartości niemalejących wskaźnika G_i , wskazuje na kolejność wykonywania zadań. Efekt zastosowania algorytmów optymalizacyjnych Palmera i Gupty prezentuje tabela 2.

Tabela 2: Kolejność wykonania zadań produkcyjnych ustalona według algorytmów optymalizacyjnych

Zadanie produkcyjne ZP_i	Algorytm Palmera		Algorytm Gupty	
	Wartość SI_i	Kolejność	Wartość G_i	Kolejność
ZP_1	62	1	-0,0910	2

ZP_2	38	2	-0,0625	3
ZP_3	16	3	-0,2500	1

W zakresie analizy porównawczej dokonano również ustalenia kolejności realizacji zadań produkcyjnych stosując wybrane reguły priorytetu [7], tj.:

- reguła NajKrótszego Czasu Operacji (NK_CO) – porządkująca zadania produkcyjne według najkrótszego czasu pierwszych operacji sekwencyjnej pracy systemu produkcji;
- reguła NajDłuższego Czasu Operacji (ND_CO) – porządkująca zadania produkcyjne według najdłuższego czasu pierwszych operacji sekwencyjnej pracy systemu produkcji;
- reguła NajWiększej Całkowitej Stanowiskowości zadania produkcyjnego (NW_CS);
- reguła NajMniejszej Całkowitej Stanowiskowości zadania produkcyjnego (NM_CS).

Kolejność wykonania zadań produkcyjnych ustalona według przyjętych reguł priorytetu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3: Kolejność wykonania zadań produkcyjnych ustalona według reguł priorytetu

Zadanie produkcyjne ZP_i	Reguła priorytetu			
	NK_CO	ND_CO	NW_CS	NM_CS
ZP_1	3	2	3	2
ZP_2	1	1	1	1
ZP_3	2	3	2	3

WERYFIKACJA SKUTECZNOŚCI OPTYMALIZACYJNEJ METOD PLANOWANIA

Weryfikacja skuteczności optymalizacyjnej zastosowanych metod planowania przebiegu produkcji przeprowadzona została za pomocą [3, 7]:

- parametru - długości harmonogramu produkcji T ,
- parametru - średniej długości cykli produkcyjnych C_{sr} ,
- wskaźnika normatywności cykli produkcyjnych zabioru zadań W_n ,
- średniego wskaźnika wydłużenia cykli produkcyjnych V_{sr} ,
- parametru - średniej czasu oczekiwania zadań produkcyjnych na obróbkę W_{sr} .

Zestawienie przyjętych do analizy wielkości przedstawiona została w tabeli 4.

Tabela 4: Parametry i wskaźniki przyjęte do analizy efektywności metod optymalizacyjnych

Metoda	Kolejność wykona-	Parametry i wskaźniki
--------	-------------------	-----------------------

	nia	T	C _{sr}	W _n	V _{sr}	W _{sr}
Rp: ND_CO Rp: NM_CS	ZP_2, ZP_3, ZP_1	89	75	0,58	1,73	20,33
A_Palmera	ZP_1, ZP_2, ZP_3	76	65	0,67	1,50	21,67
A_Genetyczny A_Gupty Rp: NK_CO Rp: NW_CS	ZP_3, ZP_1, ZP_2	72	46	0,94	1,07	3,00

Wykorzystane w obliczeniach metody i algorytmy optymalizacyjne wskazują trzy różniące się sekwencje kolejności obróbki ($z n! = 3! = 6$ możliwych). Z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny najlepszą kolejność wykonania zadań wyznaczono stosując metodykę algorytmów genetycznych, algorytm Gupty oraz reguły priorytetu NK_CO i NW_CS. Wyznaczona kolejność wykonania powoduje minimalizację długości harmonogramu obróbki zbioru zadań, średniego cyklu wykonania zadań, wskaźnika wydłużenia cykli produkcyjnych oraz średniego czasu oczekiwania zadań na obróbkę, przy jednoczesnym wysokim poziomie normatywności cykli produkcyjnych. Z kolei kolejność wykonania zadań wyznaczona w wyniku zastosowania reguł priorytetu ND_CO oraz NM_CS – spowodowała efekt przeciwny do wykazanego powyżej. Zastosowanie algorytmu Palmera spowodowało ustalenie kolejności wykonania zadań o pośredniej efektywności.

WNIOSKI

Przedstawiając możliwość wykorzystania metody algorytmów genetycznych w zakresie prostego przypadku harmonogramowania pracy gniazda produkcyjnego, wykazano jej efektywność optymalizacyjną. Algorytmy genetyczne, stanowiąc typowo matematyczne podejście w zakresie opisu i rozwiązań optymalizacyjnych procesów technicznych, organizacyjnych i ekonomicznych, rozpatrywane być mogą w kategoriach skutecznych narzędzi wspomagających procedury planowania i sterowania procesami produkcji. Wadą algorytmów genetycznych jest duża różnorodność koncepcyjna, wymuszająca konieczność indywidualnego opracowania, stanowiących podstawę obliczeń, ciągów kodowych oraz funkcji przystosowania. Losowość operatorów genetycznych (procedur krzyżowania i mutacji), nie gwarantuje uzyskania rozwiązania optymalnego, powtarzalności a tym samym przewidywalności, sekwencji obliczeniowych. Prowadzone analizy i obliczenia wykazały, iż rozwiązanie optymalne lub zbliżone do optimum uzyskać można stosując inne procedury optymalizacyjne lub quasi optymalizacyjne, tj. algorytmy przybliżone oraz reguły priorytetu – prostsze w opracowaniu i zastosowaniu. Stąd też metodyka algorytmów genetycznych może być stosowana jako jedna z metod optymalizacji, zwłaszcza w zakresie „niezdiagnozowanych” problemów decyzyjnych, wskazując pewne przybliżenie rozwiązania optymalnego.

LITERATURA

1. Brzeziński M.: Sterowanie produkcją. Wyd. Liber, Lublin 2001.
2. Jasiński Z.(red.): Zarządzanie produkcją. Wyd. AE im. O. Langeo, Wrocław 1993.
3. Knosala R. i zespół: Zastosowanie sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. WNT, Warszawa 2002.

4. Pająk E.: Zarządzanie produkcją. PWN, Warszawa 2006.
5. Sikora W. (red.): Badania operacyjne. PWE, Warszawa 2008.
6. Wróblewski K.J.: Podstawy sterowania przepływem produkcji. WNT, Warszawa 1993.
7. Wróblewski K.J. i inni: Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji. WNT, Warszawa 1984.

GENERIC ALGORITHMS IN PRODUCTION ENGINEERING

Abstract. An usability of artificial intelligence methods in production management has been presented. An efficiency of generic algorithm's method in production schedule has been compared with selected optimization algorithms and heuristic rules – priority rules.