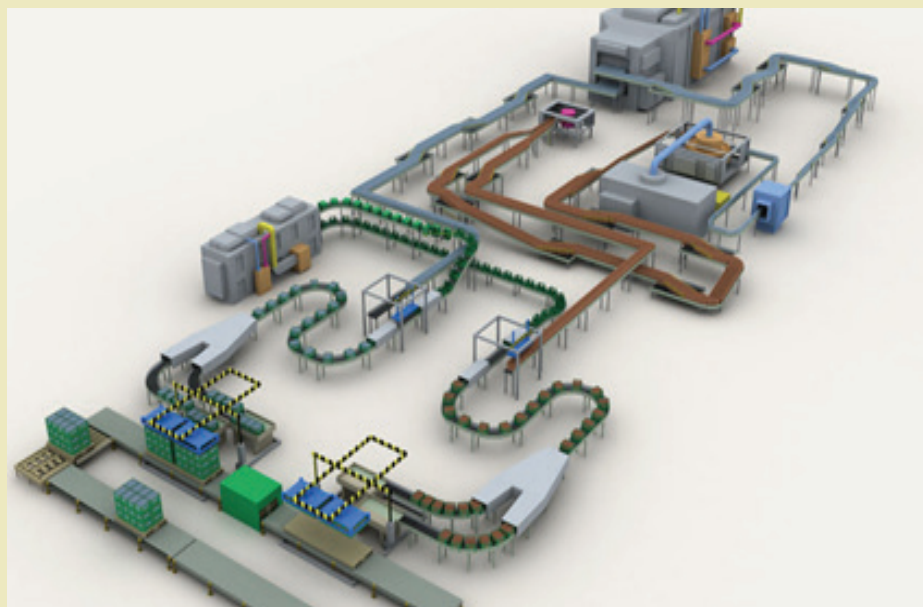




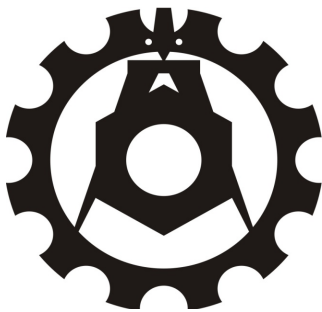
Komputerowo zintegrowane projektowanie elastycznych systemów produkcyjnych



MONOGRAFIE

Komputerowo zintegrowane
projektowanie elastycznych
systemów produkcyjnych

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Komputerowo zintegrowane projektowanie elastycznych systemów produkcyjnych

Bogdan Palchevskyi
Antoni Świć
Volodymyr Pavlysh
Zbigniew Banaszak
Arkadiusz Gola
Olena Krestianpol
Vasyl Lozynskyi



Politechnika Lubelska
Lublin 2015

Recenzent:

prof. Zinowiew Stocko

prof. Jurij Kuzniecowa

Zespół autorów:

Bogdan Palchevskiy – Narodowy Uniwersytet Techniczny w Łucku

Antoni Świć – Politechnika Lubelska

Volodymyr Pavlysh – Narodowy Uniwersytet „Politechnika Lwowska”

Zbigniew Banaszak – Politechnika Warszawska

Arkadiusz Gola – Politechnika Lubelska

Olena Krestianpol – Narodowy Uniwersytet Techniczny w Łucku

Vasyl Lozynskiy – Narodowy Uniwersytet „Politechnika Lwowska”

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2015

ISBN: 978-83-7947-125-6

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatorp.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 100 egz.

SPIS TREŚCI

WSTĘP	9
1. CHARAKTERYSTYKA ZAUTOMATYZOWANEJ PRODUKCJI ELASTYCZNEJ	12
1.1. Podstawowe etapy kształtowania się zasad i środków automatyzacji produkcji przemysłowej	12
1.2. Technologie i systemy informacyjne – podstawa współczesnej produkcji	17
1.3. Globalne koncepcje rozwoju technologii i systemów informacyjnych. Systemy rozproszonego przetwarzania danych	22
1.4. Podstawowe tendencje rozwoju produkcji przemysłowej i budowy współczesnych systemów maszyn	30
1.5. Organizacja strukturalna elastycznych systemów produkcyjnych.....	34
1.6. Podsystem technologiczny ESP	39
1.6.1. Maszyny technologiczne CNC.....	40
1.6.2. Elastyczne systemy produkcyjne	41
1.6.3. Zrobotyzowane kompleksy technologiczne	50
1.7. Podsystem transportowo-manipulacyjny ESP	56
1.7.1. Koncepcja procesów transportu i manipulacji w ESP	58
1.7.2. Zautomatyzowany system transportu i składowania	64
1.7.3. Zautomatyzowany system narzędziowy (ZSN)	68
1.7.4. Zautomatyzowane systemy kontroli (ZSK)	68
1.7.5. Zautomatyzowany system usuwania odpadów (ZSUO)	67
1.8. Wydajność ESP	68
1.8.1. Ocena wdrożenia i użytkowania ESP	68
1.8.2. Skuteczność zautomatyzowanej produkcji zróżnicowanej	73
1.8.3. Elastyczność ESP	76
1.9. Główne kierunki doskonalenia elastycznej zautomatyzowanej produkcji	80
2. ZASADY PROJEKTOWANIA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH	84
2.1. Mechanizm analizy systemowej przy projektowaniu ESP	86
2.1.1. Dane wejściowe projektu w czasie analizy systemowej ESP	88
2.1.2. Systemowo-techniczna synteza ESP – kolejność prac	92
2.2. Model proceduralny i podstawowe etapy projektowania ESP.....	93

2.3. Zasady budowy i formalizacja procesu zautomatyzowanego projektowania ESP	104
2.3.1. Budowa CAD ESP	105
2.3.2. Formalizacja funkcjonalnego projektowania ESP – projektowanie procesu	111
2.3.3. Formalizacja strukturalnego projektowania ESP	111
2.4. Środki sterowania systemami zautomatyzowanymi. Rola techniki komputerowej w integracji produkcji elastycznej	113
2.4.1. Hierarchia systemu sterowania	113
2.4.2. Systemy informacyjno-pomiarowe jako podstawowe ogniwo sterowania systemem zautomatyzowanym	118
2.5. Systemy produkcyjne elastyczne i rekonfigurowalne o otwartej architekturze	125
3. FUNKCJONALNE PROJEKTOWANIE ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH	135
3.1. Problemy technologicznego przygotowania produkcji.....	135
3.1.1. Kierunki badań technologicznego przygotowania produkcji	136
3.1.2. Wstępna analiza produkcji.....	138
3.1.3. Automatyzacja technologicznego przygotowania produkcji.....	143
3.1.4. Technologiczne przygotowanie produkcji w wirtualnych rozproszonych strukturach produkcyjnych (RSP)	146
3.2. Ogólne zasady projektowania procesu grupowego w warunkach produkcji elastycznej.....	149
3.2.1. Technologia grupowa	149
3.2.2. Uogólniona marszruta technologiczna	152
3.2.3. Procedury projektowania procesu technologicznego w warunkach produkcji elastycznej	156
3.2.4. Technologiczność wyrobów w warunkach produkcji elastycznej	159
3.2.5. Przykłady podwyższania technologiczności wyrobów dla warunków produkcji elastycznej	163
3.2.6. Planowanie operatywno-produkcyjne w ESP	172
3.3. Projektowanie procesu obróbki mechanicznej w produkcji elastycznej.....	177
3.3.1. Właściwości procesów obróbki mechanicznej z punktu widzenia ich automatyzacji.....	177
3.3.2. Etapy opracowania procesu obróbki mechanicznej	179
3.3.3. Dobór i grupowanie części.....	180
3.3.4. Analiza technologiczna rysunku części	186

3.3.5. Wybór baz i określanie kolejności obróbki powierzchni	193
3.3.6. Analiza wymiarowa procesu obróbki mechanicznej.....	202
3.3.7. Wybór narzędzi skrawających	211
3.3.8. Normowania operacji.....	212
3.3.9. Przykład projektowania funkcjonalnego ESP do obróbki mechanicznej	214
3.4. Projektowanie grupowego procesu technologicznego sprzętu mikroelektronicznego.....	218
3.4.1. Montaż sprzętu mikroelektronicznego. Organizacja prac montażowych.....	220
3.4.2. Technologiczne procesy składania i montażu wyrobów sprzętu mikroelektronicznego	225
3.5. Projektowanie grupowego procesu technologicznego pakowania.....	236
3.5.1. Procedura syntezy grupowego procesu ESPO	237
3.5.2. Integracja procesów pakowania	241
3.5.3. Podwyższenie uniwersalności środków technicznych ESP pakowania.....	245
4. PROJEKTOWANIE STRUKTURALNE ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH	252
4.1. Zasady projektowania strukturalnego elastycznych systemów produkcyjnych.....	252
4.1.1. Kierunki projektowania ESP	252
4.1.2. Kryteria oceny ESP.....	255
4.1.2.1. Ekonomiczne wskaźniki efektywności.....	255
4.1.2.2. Techniczne wskaźniki efektywności	259
4.1.2.3. Pomocnicze wskaźniki efektywności ESP	261
4.1.2.4. Kompleksowe wskaźniki efektywności.....	261
4.2. Optymalizacja podziału operacji technologicznych pomiędzy maszyny technologiczne ESP	262
4.3. Projektowanie struktury obróbki mechanicznej ESP	268
4.3.1. Analiza produkcji i opracowanie elastycznego systemu obróbki tokarskiej	268
4.3.2. Automatyzacja procedury grupowania operacji do obróbki w ESP....	278
4.3.3. Struktura ESP obróbki tokarskiej.....	282
4.4. Projektowanie struktury ESP montażu rezystora zmiennego.....	284
4.4.1. Projektowanie funkcjonalne ESP montażu	284
4.4.2. Projektowanie struktury ESP montażu rezystora	291

4.5. Projektowanie struktury ESP pakowania	295
4.5.1. Właściwości technologii optymalizacji strukturalnej ESP	295
4.5.2. Optymalizacja struktury oraz kosztów linii technologicznej metodą „podziału i ograniczeń”	299
4.5.3. Optymalizacja struktury linii technologicznej metodą „podziału i ograniczeń”	307
4.5.4. Optymalizacja struktury linii technologicznej metodą simpleks	311
4.6. Wizualizacja struktury ESP	318
4.6.1. Zasady budowy modeli 3-D sprzętu technologicznego	318
4.6.2. Budowa makiet elektronicznych 3-D konfiguracji linii technologicznych	321
4.6.3. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej na podstawie modeli 3-D	324
5. NOWOCZESNE I PRZYSZŁOŚCIOWE KIERUNKI ROZWOJU ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH	329
5.1. Przesłanki rozwoju nowych form organizacji produkcji zintegrowanych systemów produkcyjnych	329
5.2. Rekonfigurowalne systemy produkcyjne (RSP)	333
5.3. Dedykowane elastyczne systemy produkcyjne (DESP)	341
5.4. Fraktalne elastyczne systemy produkcyjne (FESP)	344
5.5. Holonowe systemy produkcyjne (HSP)	345
5.6. Bioniczne systemy produkcyjne (BSP)	348
5.7. Wirtualne systemy produkcyjne (WSP)	351
5.7.1. Zarządzanie przepływem produkcji	351
5.7.2. Wirtualne przedsiębiorstwo	355
5.7.3. Prototypowanie wirtualnych systemów produkcyjnych	357
5.8. Inteligentne systemy produkcyjne (ISP)	370

WSTĘP

Współczesny przemysł charakteryzuje się szybkim postępowaniem w zakresie technologii i środków produkcji – systemów produkcyjnych. Doświadczenie w eksploatacji automatycznych linii obróbkowych oraz urządzeń, stosowanych w różnych gałęziach przemysłu, na przykład w przemyśle maszynowym, spożywczym i opakowaniowym, pokazuje, że jedną z ich wad jest niska efektywność urządzeń. Decydujący wpływ na wykorzystanie maszyn mają przerwy z powodów organizacyjnych i technicznych oraz sezonowość pracy linii, jak to ma miejsce w przemyśle opakowaniowym. W celu poprawy wydajności urządzeń, niezbędna jest organizacja produkcji linii w oparciu o trzy zasady, umożliwiające zwiększenie stopnia wykorzystania systemów produkcyjnych:

- zapewnienie elastyczności produkcji, umożliwiającej wykorzystywanie sprzętu przez cały rok i reagowanie na zmiany na rynku,
- zapewnienie automatyzacji produkcji,
- zapewnienie integracji wszystkich elementów produkcji i procesów biznesowych w przedsiębiorstwie, w wyniku zastosowania zintegrowanego systemu sterowania będącego elementem linii produkcyjnej, implementującego funkcje bezpośredniego sterowania urządzeniami, planowania i harmonogramowania, monitorowania i diagnostyki systemów przemysłowych, kontroli zleceń i tak dalej.

Koszt produkcji jest wysoki, więc wybór stopnia automatyzacji, elastyczności i integracji jest zadaniem trudnym, ponieważ elastyczna automatyzacja prowadzi do wzrostu zakresu pracy organizatorów i pracowników pomocniczych oraz zwiększenia ilości przesyłanej informacji w elastycznym systemie produkcyjnym (ESP). Należy zauważyć, że w tych warunkach kluczowym zadaniem automatyzacji produkcji nie jest wyeliminowanie pracy ręcznej przy realizacji procesów, a zmniejszenie zakresu prac związanych z organizacją produkcji elastycznej (PE).

ESP jest koncepcją produkcji, która umożliwia produkcję różnorodnych produktów, w zakresie możliwości technologicznych urządzeń procesowych, włączonych do systemu maszyn przy koszcie współmiernym z kosztem produkcji masowej.

Elastyczna produkcja jest oparta na takich zasadach jak technologia grupowa, uniwersalność maszyn technologicznych, SCADA, CAM, CIM.

Przy projektowaniu ESP należy stosować zasady i metody badań systemowych, które umożliwiają określenie schematów budowy, eksploatacji i rozwoju procesu produkcyjnego. Należy zauważyć, że w rozwoju urządzeń technologicznych istnieje szereg widocznych tendencji, a więc:

1. Wzrost koncentracji zabiegów na jednej maszynie technologicznej, umożliwiający zwiększenie wydajności i jakość produktów. Na maszynie są realizowane różnorodne zabiegi.
2. Funkcjonalno-modułowa budowa maszyn i ESP, co redukuje czas projektowania i produkcji urządzeń oraz pozwala zwiększyć niezawodność i inne właściwości funkcjonalne.
3. Zmniejszenie udziału ludzi w procesie produkcyjnym w celu zapewnienia przebiegu procesu bez udziału człowieka, umożliwiające zwiększenie szybkości mechanizmów maszyn, jakości produkcji, czystości oraz odpowiedniego otoczenia systemu produkcyjnego.
4. Zmniejszenie udziału ludzi w procesach pomocniczych: przemieszczania, manipulowania, układania produktów przez szersze stosowanie robotów przemysłowych, powodujące zwiększenie szybkości przepływu towarów i zmniejszenie kosztów pośrednich.
5. Zastosowanie coraz bardziej funkcjonalnych systemów kontroli, konstruowanie ich przy uwzględnieniu powiększenia ilości sprzężeń zwrotnych, co poprawia sterowność procesów zachodzących w maszynach.

Tendencje te mogą być zrealizowane w przypadku kiedy zostaną uwzględnione jeżeli procesy interakcji występują w ESP oraz czynniki zewnętrzne. Ponieważ procesy w przedsiębiorstwie są złożone powiązane ze sobą to optymalizacja procesów konstrukcji jednego urządzenia lub ESP bez uwzględnienia relacji z innymi procesami, nie da optymalnego wyniku. Rozwiązanie takie nie jest możliwe bez interakcji procesów, przebiegających w różnych maszynach i liniach technologicznych oraz procesów zachodzących w trakcie realizacji zleceń przez ESP, przy uwzględnieniu wpływu otoczenia oraz rynku.

Celem nowych technik projektowania jest zwiększenie jakości projektów, zmniejszenie kosztów materiałowych, skrócenie terminów projektowania, zwiększenie produktywności przez zastosowanie na wszystkich etapach technologii komputerowej. Projektowanie ESP na tym etapie rozwoju jest niemożliwe bez szerokiego wykorzystania technologii informacyjnej na podstawie systemowego podejścia. Aktualnie występującą tendencją jest synteza doświadczeń uzyskanych przy projektowaniu ESP w różnych dziedzinach. Trwają intensywne prace w celu określenia konkretnego podejścia systemowego do projektowania ESP stosowanych w produkcji maszyn oraz ich dystrybucji z uwzględnieniem specyfiki innych gałęzi przemysłu, na przykład takich jak pakowanie.

Monografia została opracowana przez zespół autorów reprezentujących cztery uczelnie w Polsce i na Ukrainie. Treści w niej zawarte są odzwierciedleniem wyników badań w zakresie automatyzacji procesów produkcyjnych z uwzględnieniem produkcji rynkowej. Wymienione przykłady systemów produkcyjnych stosowanych w przemyśle budowy maszyn, przyrządów i opakowań, potwierdzają istnienie wspólnych trendów systemów produkcyjnych.

Autorzy mają nadzieję, że niniejsza monografia będzie przydatna specjalistom, którzy pracują w obszarze automatyzacji produkcji.

Jesteśmy wdzięczni recenzentom profesorowi Uniwersytetu Narodowego „Politechnika Lwowska” Zinowiewowi Stocko oraz profesorowi Narodowego Uniwersytetu Technicznego Ukrainy „Kijowski Politechniczny Instytut” Juriemu Kuzniecowskiemu za uwagi, które pozwoliły poprawić jakość książki.

1. CHARAKTERYSTYKA ZAUTOMATYZOWANEJ PRODUKCJI ELASTYCZNEJ

1.1. Podstawowe etapy kształtowania się zasad i środków automatyzacji produkcji przemysłowej

Analiza rozwoju automatyzacji produkcji przemysłowej pozwala na określenie szeregu podstawowych etapów [1.16, 1.32, 1.39, 1.40]:

1. Budowa specjalizowanych urządzeń automatycznych do mechanizacji procesów technologicznych (PT). Wąska specjalizacja umożliwiła uzyskanie wysokiej wydajności obrabiarek automatycznych, co jednak jest przeszkodą w ich rozpowszechnieniu, wskutek niemożliwości przebrojenia wyposażenia automatycznego przy przejściu do produkcji nowego typu wyrobów.
2. Budowa obrabiarek sterowanych numerycznie (NC) zdolnych do szybkiego przebrojenia w wyniku zastosowania oprogramowania sterującego w celu przejścia do produkcji nowego typu wyrobów. Obrabiarki sterowane numerycznie pozwoliły na automatyzację cyklu obróbki części – sterowanie kolejnością i charakterem ruchów narzędzi roboczych w celu uzyskania powierzchni części o określonym kształcie, wymiarach i jakości. Były one jednak dość drogie i posiadały niski współczynnik wykorzystania (czas maszynowy był mniejszy od sumarycznego czasu przebrojenia). Oprócz tego, człowiek wykonywał najbardziej ciężką i mało atrakcyjną część pracy – transport części i półwyrobów, ich podawanie na obrabiarkę i zdejmowanie.
3. Połączenie obrabiarek NC w linie i odcinki sterowane komputerowo. Dzięki automatyzacji nie tylko podstawowego PT, ale również wielu funkcji produkcyjnych (planowanie, optymalizacja obciążenia, ewidencja i analiza produkcji itd.) udało się w znaczącym stopniu podnieść współczynnik wykorzystania obrabiarek NC.
4. Opracowanie układów sterowania numerycznego na bazie mikroprocesorów umożliwiło istotne zwiększenie niezawodności pracy, obniżenie łącznego kosztu projektowania układu oraz korygowanie programów sterujących bezpośrednio przy obrabiarence.
5. Połączenie obrabiarek NC w linie i odcinki sterowane komputerowo umożliwiło wdrożenie nowych zasad organizacji produkcji – technologii grupowej.

6. Budowa automatycznych robotów przemysłowych, które można przeprogramować oraz zastosować do wykonania różnych operacji w zakresie przemieszczenia w przestrzeni wytwarzanych elementów i narzędzi. Wysoka skuteczność wykorzystania robotów przemysłowych jako urządzeń załadowczo-wyładowczych jest uwarunkowana ich wysoką uniwersalnością i szybkością przebrojenia.
7. Opracowanie na bazie robotów przemysłowych zrobotyzowanych kompleksów technologicznych (ZKT), w których robot obsługuje jedną lub kilka jednostek wyposażenia technologicznego pozwoliło na odsunięcie człowieka ze strefy bezpośrednio produkcyjnej. Zastosowanie transportowych robotów przemysłowych i zbudowanie w oparciu o nie – systemów transportowo-magazynowych z zautomatyzowanymi magazynami – pozwoliło na połączenie wszystkich ZKT w jedyny zespół technologiczny.
8. Rozwój zautomatyzowanych informatycznych systemów zarządzania produkcją (ZSZP), sterowania procesami technologicznymi (ZSSPT) oraz zaopatrzeniem organizacyjno-technologicznym (ZSSZOT); opracowanie odpowiedniego oprogramowania (systemy operacyjne, pakiety aplikacji, języki o różnym poziomie programowania itd.), dynamiczny rozwój techniki komputerowej, budowa sieci komputerowych i połączenie w jeden system komputerów sterujących różnorodnym wyposażeniem technologicznym ze sterowaniem cyfrowym, robotami przemysłowymi, mechanizmami transportowo-magazynowymi z centralnym komputerem pełniącym funkcje koordynacji, planowania i systemu dyspozytorskiego.
9. Opracowanie zautomatyzowanych systemów technicznego przygotowania produkcji (ZSTPP) – bez których nie jest możliwe istotne zwiększenie wydajności wyposażenia. Budowa systemów komputerowo wspomaganego projektowania (CAD) procesów technologicznych części, narzędzi, urządzeń, systemów zautomatyzowanego przygotowania programów sterujących obrabiarek NC (również w przypadku robotów przemysłowych) oraz odpowiednio wyposażonych i oprogramowanych zautomatyzowanych stanowisk pracy (ZSP) konstruktorów, technologów, technologów-programistów, badaczy.
10. Budowa elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) zdolnych do zapewnienia kompleksowej automatyzacji wszystkich ogniw procesu produkcji na bazie odpowiednich układów sterujących w tym wdrożenie całkowicie zautomatyzowanych odcinków i wydziałów z zautomatyzowanym przygotowaniem produkcji i planowania.

Elastycznym systemem produkcyjnym nazywa się sterowany środkami techniki komputerowej układ o różnych powiązaniach poszczególnych urządzeń technologicznych, elastycznych modułów produkcyjnych (EMP), zrobotyzowanych kompleksów technologicznych (ZKT), zautomatyzowanego systemu

technicznego przygotowania produkcji i systemu sterowania, posiadającą właściwość automatycznego przebrojenia przy zmianie asortymentu wyrobów lub wymiarów produkowanych wyrobów [1.16, 1.46].

Rozwój zróżnicowanej produkcji zautomatyzowanej doprowadził do powstania zintegrowanego wytwarzania (CIM), którego koncepcja przewiduje:

- zastosowanie technologii komputerowych do automatyzacji procesów i operacji technologicznych,
- informacyjną integrację procesów, osiągniętą wskutek wykorzystania wspólnych baz danych przy opracowaniu i projektowaniu wyrobów, przygotowaniu produkcji, jego zaopatrzeniu materiałowo-technicznym, planowaniu i zarządzaniu,
- występowanie zintegrowanego zautomatyzowanego systemu zarządzania (ZZSZ) pełniącego funkcje automatyzacji procesów projektowania, przygotowania produkcji, produkcji wyrobów i zarządzania przedsiębiorstwem, jak również zapewnienia informacyjnej integracji procesów.

Podstawowymi składnikami ZZSS są [1.16, 1.32]: zautomatyzowany system badań naukowych (ZSB), zautomatyzowany system technicznego przygotowania produkcji (ZSTPP), zautomatyzowany system sterowania produkcją (ZSSP), zautomatyzowany system narzędziowy (ZSN), zautomatyzowany system sterowania elastycznymi systemami produkcyjnymi (ZSS ESP) oraz zautomatyzowany system transportowo-magazynowy (ZSTM).

W latach 1985–1995 w różnych krajach zbudowano około 20 skomputeryzowanych zakładów zintegrowanych o różnym poziomie automatyzacji, w tym: osiem zakładów zautomatyzowanych wytwarzających sprzęt do skrawania metali, cztery – wyroby do przemysłu lotniczego i kosmonautycznego (USA), pozostałe były ukierunkowane na produkcję różnych urządzeń, w tym komputerowych i elektronicznych [1.24, 1.41, 1.45].

Realizacja koncepcji CIM jest ważnym etapem w rozwoju przemysłowych technologii informacyjnych. Na tym etapie rozwoju opracowano i częściowo zaaprobowano wiele podstawowych idei, zasad i technologii takich jak [1.32]:

1. Klasę systemów automatyzacji pracy inżynierskiej: CAD (Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing)/CAE (Computer Aided Engineering) – oprogramowanie do projektowania wspomaganego komputerowo przygotowania produkcji oraz obliczeń inżynierskich. Systemy CAD umożliwiły opracowanie konstruktorskie geometrycznych modeli wyrobów (w postaci rysunków na obrabiarki NC). Elektroniczna wymiana danych pomiędzy systemami CAD i CAM jest jednym z pierwszych przykładów rzeczywistej informacyjnej integracji procesów.

2. Systemy klasy MRP (Materials Requirement Planning – planowanie zapotrzebowania materiałowego), a następnie MRP II (Manufacturing Resource Planning – planowanie zasobów wytwórczych). Dało to podstawę do ukształtowania się określonej normy funkcjonalnej, która określa powszechnie przyjętą technologię zarządzania realizowaną za pomocą systemów komputerowych. Charakterystyczną cechą tej technologii jest wspólne wykorzystanie baz danych w różnych procesach. Pojęcie MRP II stało się powszechnie przyjętym określeniem kompleksu zadań zarządzania finansowo-gospodarczą działalnością przedsiębiorstwa: planowania produkcji, zaopatrzenia materiałowo-technicznego, zarządzania zasobami finansowymi itd.

Na początku lat 90 firma doradcza Gartner Group (USA) zaproponowała koncepcję ERP (Enterprise Resource Planning – planowanie zasobów przedsiębiorstwa). Terminy MRP II i ERP zaczęły wypierać termin ZSSP i stały się dla specjalistów określeniem klasy zintegrowanych systemów informacyjnych, przeznaczonych do zarządzania produkcyjno-gospodarczą działalnością przedsiębiorstwa [1.32].

Komputerowo zintegrowane zakłady w porównaniu z ESP umożliwiały rozwiązanie szerszego zakresu zadań, w tym: opracowanie, projektowanie, produkcję wyrobów, zaopatrzenie materiałowo-techniczne oraz realizację innych zadań przedsiębiorstwa. Jednak takie zagadnienia jak relacje ze zlecającymi, partnerami-dostawcami, sprzedaż, obsługa serwisowa wyrobów itd. pozostawały bez rozwiązania. Powstała potrzeba budowy zintegrowanego systemu wsparcia cyklu życia produktu.

Na współczesnym etapie rozwoju wdrażana jest automatyzacja wszystkich rodzajów prac oraz zintegrowane informacyjne wsparcie rozwiązań za pomocą współczesnych technologii informacyjnych i systemów inteligentnych na wszystkich etapach cyklu życia produktu. Budowane są rekonfigurowalne systemy produkcyjne – RSP (RMS – Reconfigurable Manufacturing System), mające możliwość zmiany/adaptacji przestrzenno-czasowej organizacji (architektury) systemu produkcyjnego do zmian rynkowego popytu na produkcję.

Wg definicji podanej w normie ISO 9004–1 cykl życia produktu to całokształt procesów wykonywanych od chwili powstania zapotrzebowania społeczeństwa na określone produkty do chwili zaspokojenia tych potrzeb oraz utylizacji produktów. Do podstawowych faz cyklu życia należą: marketing, projektowanie i opracowanie produktów, zakup materiałów i części, produkcja lub świadczenie usług, pakowanie i przechowywanie, sprzedaż, montaż i uruchomienie produkcji, pomoc techniczna i obsługa serwisowa, funkcjonowanie lub użytkowanie po sprzedaży, utylizacja i przetwórstwo po zakończeniu okresu użytkowania.

Prace w zakresie utworzenia zintegrowanych systemów wsparcia cyklu życia produktu zaczęły się jeszcze w latach 80-tych w przemyśle obronnym USA.

Nowej koncepcji nadano nazwę CALS (Computer Aided Logistic Support – Wspomagane komputerowo wsparcie logistyczne produkcji). Była ona opracowana w celu poprawy zarządzania materiałowo-technicznego w armii USA. Koncepcja była ciągle rozwijana i uzupełniana, przeszła aprobatę w różnych branżach przemysłu udowadniając swoją skuteczność. W sektorze cywilnym najbardziej rozpowszechniony został termin Product Lifecycle Management (PLM) – zarządzanie cyklem życia produktu [1.33].

Do PLM zalicza się prawie wszystkie środki i systemy automatyzacji: konstruktorskie i technologiczne CAD (CAD/CAM/CAE), środki zarządzania relacjami z klientami – CRM (Customer Relationship Management), łańcuchem dostaw – SCM (Supply Chain Management), obsługą techniczną (serwisem) itd., a także zarządzanie danymi produktu – PDM (Product Data Management), który jest podstawą PLM i odgrywa kluczową rolę w organizacji informacyjnego współdziałania wszystkich uczestników cyklu życia produktu przez zintegrowane środowisko informacyjne (ZŚI).

Przy realizacji strategii PLM znajdują zastosowanie trzy grupy metod leżących u podstaw koncepcji PLM [1.37]:

1. Technologie analizy oraz reorganizacji procesów biznesowych – zestaw organizacyjnych metod restrukturyzacji sposobu funkcjonowania przedsiębiorstwa w celu podniesienia jego skuteczności. Technologie te są potrzebne, aby w prawidłowy sposób przejść od papierowego do elektronicznego obiegu dokumentów i wdrożyć nowe metody opracowania wyrobu.
2. Technologie prezentacji danych o wyrobie w postaci elektronicznej – zestaw metod do opracowania w postaci elektronicznej danych o wyrobie, dotyczących poszczególnych etapów jego cyklu życia. Technologie te są przeznaczone do automatyzacji poszczególnych procesów cyklu życia.
3. Technologie integracji danych o wyrobie – zestaw metod do integracji zautomatyzowanych procesów cyklu życia oraz należących do nich danych przedstawionych w postaci elektronicznej.

Koncepcja rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych jest rozpatrywana jako alternatywa do elastycznych systemów produkcji. Zaczęto ją realizować w połowie lat 90 początkowo w USA, a potem w Niemczech i Japonii. Został utworzony i prowadzi aktywną działalność ośrodek naukowo-badawczy na Uniwersytecie Michigan, który faktycznie jest narodowym ośrodkiem rozwoju i realizacji koncepcji RMS w USA (Engineering Manufacturing Center for Reconfigurable Manufacturing Systems, University of Michigan), która jest wpisana do koncepcji narodowego rozwoju budowy maszyn do 2020 roku (Visionary Manufacturing Challenges for 2020), jako jeden z podstawowych kierunków naukowo-badawczych w zakresie budowy rekonfigurowalnych zakładów i przedsiębiorstw (Reconfigurable enterprises) [1.21,1.41].

Rekonfigurowalne systemy produkcyjne to systemy o zmiennej architekturze, które mogą we właściwym czasie adaptować swoją strukturę; wraz z możliwością dynamicznego wdrożenia zmian produkcyjnych wraz ze zmianą dynamiki rynkowej [1.38].

RMS mogą się przezbrać, posiadają automatyczne urządzenia do zmiany narzędzi, wyposażenia oraz poszczególnych zespołów, mają również możliwość w czasie rzeczywistym automatycznej zmiany architektury w celu rozwiązania konkretnego zadania produkcyjnego, bez przerywania przejściowego procesu zmiany technologii. Nowe podejście produkcyjne łączy w sobie wysoką wydajność linii o wąskiej specjalizacji z elastycznością ESP, a także możliwość szybkiego oraz skutecznego reagowania na potrzeby rynku – wykorzystuje następujące zasady [1.23, 1.42]:

- projektowanie i wdrożenie do produkcji systemów i obrabiarek o rekonfigurowalnej strukturze,
- projektowanie systemu produkcji w oparciu o grupę części o ekonomicznie skutecznej elastyczności niezbędnej do produkcji wszystkich wyrobów tej grupy (obniżenie kosztów systemu).

W odróżnieniu od tradycyjnych linii o wąskiej specjalizacji i ESP, możliwości produkcyjne RMS mogą się płynnie zmieniać zależnie od wymagań producenta i konsumenta.

1.2. Technologie i systemy informacyjne – podstawa współczesnej produkcji

Świat wokół nas ma coraz więcej cech społeczeństwa informacyjnego, którego głównym zasobem zaczynają być technologie informacyjne, systemy informacyjno-komunikacyjne, jak również poziom gotowości człowieka do wykorzystania oferowanych możliwości. Współczesny biznes, produkcja, gospodarka, edukacja, medycyna, kultura, warunki życia – całe nasze życie jest wypełnione technologiami informacyjnymi. Świat szybko się zmienia zamieniając się w świat biznesu elektronicznego, komercji elektronicznej, nowej gospodarki i zarządzania – świat, w którym główne miejsca zajmują technologie informacyjne (IT).

Produktem IT jest informacja – jeden z najdroższych rodzajów zasobów w obecnych czasach, a celem – otrzymanie potrzebnej informacji o właściwej jakości w najkrótszym czasie i najniższym koszcie. Podstawę współczesnych IT stanowią: komputerowe przetwarzanie informacji wg określonych algorytmów, przechowywanie dużych ilości danych na nośnikach pamięci i przekazywanie informacji na dowolną odległość w określonym czasie. Technologie informacyjne to sposoby przetwarzania informacji, a systemy informacyjne to środowisko, w którym są one realizowane.

System informacyjny można rozpatrywać jako system zarządzania, w którym obiektem zarządzania jest proces produkcji informacji. A więc jako **technologie informacyjną** rozumie się całokształt metod i środków uzyskania, przetwarzania, reprezentacji informacji, nakierowanych na zmianę jej stanu, właściwości, formy, treści wykonywanych w interesie konsumentów [1.24]. Wg DSTU 2226–93, technologia informacyjna to proces technologiczny, którego przedmiotem przetwórstwa i wynikiem jest informacja.

Możliwości konkretnych IT są w pełni realizowane wtedy, gdy są one wzajemnie powiązane z innymi technologiami informacyjnymi, połączone w sieci lub systemy. Rozwój technologii informacyjnych doprowadził więc do powstania systemów informacyjnych.

Systemy informacyjne (IT/S) – to całokształt sprzętu, oprogramowania, algorytmów i sieci wsparcia skierowanego na osiągnięcie określonego celu. W jego skład wchodzi [1.19]:

- *Sprzęt (Hardware)*. Należą do niego struktura fizyczna lub makietka logiczna, konfiguracja maszyn, systemów oraz innego wyposażenia. Są to środki realizacji zadań produkcyjnych (towarów i/lub usług) z osiągnięciem określonego wyniku lub celu;
- *Oprogramowanie (Software)*. Jest to zestaw reguł, wytycznych i algorytmów niezbędnych do „ożywiania” sprzętu technicznego. Do oprogramowania także należą programy, normy i reguły użytkowania skierowane na koordynację poszczególnych zadań i procesu w całości;
- *Oprogramowanie algorytmowe (inteligentne)*. Zależnie od intencji, oczekiwanych wyników oraz celów. Ma ono uzasadniać celowość zastosowania i rozwijania sprzętu i oprogramowania, jak również jego konfigurację w każdym konkretnym przypadku.

Sprzęt, oprogramowanie i oprogramowanie algorytmowe są ze sobą powiązane. Tworzą one *jądro IT/S*. Istnieje również czwarty, najbardziej ważny aspekt IT/S – *sieć wsparcia IT/S, infrastruktura*. Są to niezbędne schematy fizyczne, organizacyjne, administracyjne i kulturowe, w tym zadania robocze, wymagane umiejętności, zakres prac, normy i kryteria, styl, kultura oraz organizacyjne modele rozwoju IT/S.

Uważa się, że technologie i systemy informacyjne (IT/S) zawierają również technologie komputerowe i telekomunikacyjne, a także związane z nimi oprogramowanie i systemy operacyjne. Aplikacje, które wykorzystują te technologie, zawierają komputerowe systemy informacyjne do przechowania, obróbki i wyszukiwania danych oraz usługi komunikacyjne oparte na IT/S – telefonię, telefaks i pocztę elektroniczną. Rozwój Internetu i jego wykorzystanie do zadań na przykład takich jak handel elektroniczny, jest coraz ważniejszy dla organizacji i społeczeństw w całości.

Do skutecznego funkcjonowania dowolnego przedsiębiorstwa są potrzebne nie tylko zasoby materialne, ludzkie oraz finansowe. Dowolny rodzaj działalności wymaga również odpowiednich zasobów informacyjnych, które są ściśle powiązane z każdym z wymienionych zasobów i są wykorzystywane w toku ich zarządzania nimi.

Zasoby informacyjne przedsiębiorstwa to całościowe informacje wewnętrzne i zewnętrzne. Informacja wewnętrzna odzwierciedla stan finansowo-gospodarczy, a zewnętrzna – ekonomiczny, społeczny, technologiczny, polityczny oraz inne relacje przedsiębiorstwa z klientami, dostawcami, pośrednikami, konkurentami, organami państwowymi itd. Należy zbadać potrzeby informacyjne oraz odpowiednio planować zasoby informacyjne i nimi zarządzać mimo braku metodologii ich oceny jakościowej oraz ilościowej. Oznacza to [1.13]:

- ocenę potrzeb informacyjnych na każdym poziomie i w ramach każdej funkcji zarządzania,
- zbadanie i racjonalizację obiegu dokumentów w organizacji; standaryzację typów i form dokumentów, typizację informacji i danych,
- pokonanie problemów niezgodności typów danych,
- utworzenie systemu zarządzania danymi itd.

Informacja jest nieodłączną częścią technologicznego procesu produkcji. Jest ona tak ważnym zasobem produkcyjnym, jak energia i materiał, takim samym podstawowym zasobem gospodarczym potencjału naukowo-technicznego jak zasoby techniczne, finansowe oraz zasoby siły roboczej. Właściwe wykorzystanie zasobów informacyjnych podnosi jakość zarządzania, prowadzi do intensyfikacji produkcji. Informacja w systemach produkcji występuje jako zasób zamienny w stosunku do zasobów siły roboczej, surowców, zasobów energetycznych oraz innych rodzajów zasobów.

Istotne zmiany, jakie zaszły w ostatnim czasie w gospodarce światowej wskutek intensywnego rozwoju technologii i systemów informacyjnych oraz telekomunikacyjnych doprowadziły do transformacji środowiska biznesowego, przyspieszyły proces przejścia od społeczeństwa przemysłowego do społeczeństwa informacyjnego, dla którego charakterystyczne jest zapewnienie niezbędnej informacji wszystkim ludziom i świadczenie stale wzrastającego zakresu usług informacyjnych o wysokim poziomie. Istota tych zmian jest następująca [1.19, 1.20]:

- *Powstanie i umocnienie pozycji gospodarki globalnej.* Globalizacja światowych gospodarek przemysłowych doprowadziła do pojawienia się wielkich możliwości na rynku, jak również nowych zagrożeń, a także do wzrostu konkurencji. Podniosło to istotnie wartość informacji w przypadku firm i stworzyło nowe zadania oraz przeszkody związane z przekazywaniem, kontrolą i koordynacją informacji, jak również z realizacją

operacjami w korporacji, mającej oddziały w wielu miejscowościach i państwach. „Wybuch” **komercji elektronicznej** jeszcze bardziej przyspieszył realizację operacji biznesowych, a konsumentom ułatwił porównanie i wybór cen oraz jakości oferowanej przez producentów na rynku międzynarodowym. Sukces firmy w obecnej chwili i w przyszłości zależy od jej zdolności działania globalnego. Zarządzanie rozległą korporacją globalną – to kontakty z dystrybutorami i dostawcami, praca w ciągu 24 godzin na dobę w warunkach różnych państw, sprawozdawczość lokalna i międzynarodowa – wszystkich tych zadań oczywiście nie da się zrealizować bez odpowiednich technologii informacyjnych oraz systemów o adekwatnej mocy. Dzięki globalnym systemom komunikacji i zarządzania konsumenci mogą dokonywać zakupów na rynku, na którym są reprezentowane firmy z całego świata, przez całą dobę otrzymując cenne informacje wysokiej jakości;

- *Transformacja gospodarki przemysłowej w gospodarkę opartą na wiedzy i informacji*, które są kluczowymi składnikami bogacenia się oraz przeniesienia produkcji towarów do mniej rozwiniętych krajów. Przykładem może służyć transformacja podstawowych gospodarek przemysłowych USA, Japonii i Niemiec w gospodarki, które są oparte przeważnie na informacji. W tych oraz innych rozwiniętych gospodarczo państwach przemysłowych wiedza i informacja stały się kluczowymi składnikami, stanowiącymi o ich dobrobycie, a informacja i technologia oraz umiejętność jej pozyskiwania, przetwarzania i dystrybucji – to najważniejsze strategiczne zasoby firm. Najbardziej kapitałochłonne rodzaje produkcji, które wymagają istotnych zasobów naturalnych, energetycznych są przenoszone do państw rozwijających się, w których są tanie surowce, transport i siła robocza;
- *Transformacja przedsiębiorstw*. W przypadku nowego stylu produkcji, charakterystyczne są: mniejsza hierarchiczność, decentralizacja, elastyczne zarządzanie oparte na szybko pozyskiwanej informacji niezbędnej do produkcji oraz dostawy towarów i usług masowej dystrybucji, które w unikalny sposób są dystrybuowane na specyficznych rynkach oraz wśród konsumentów;
- *Powstanie korporacji cybernetycznych*, które różnią się od tradycyjnych firm swoim prawie pełnym oparciem na technologie informacyjne w organizacji i zarządzaniu. Technologie informacyjne są jądrem biznesu i najważniejszym narzędziem zarządzania;
- *Zasadnicza zmiana modelu stosunków rynkowych*. Inicjatywa przechodzi do samego konsumenta, który stosując współczesne technologie otrzymuje niezbędną informację i samodzielnie podejmuje decyzje.

Powstanie globalnych rynków opartych na informacji doprowadziło do powstania unikalnego środowiska przy podejmowaniu decyzji. W przypadku środowiska biznesowego charakterystyczna jest bardziej silna konkurencja oraz

istotny wzrost wartości informacji jako zasobu strategicznego. Decyzje coraz częściej są podejmowane w sposób zdecentralizowany, często przez ludzi, znajdujących się w różnych częściach świata. Często decyzje muszą być podjęte operatywnie (lub w krótkim terminie) przy występowaniu sporej ilości informacji. Potrzeba szybkiego podjęcia decyzji, koordynacji i ulepszenia pewnych aspektów tej procedury są bodźcem do rozwoju szeregu technologii, które ułatwiają podjęcie decyzji, od baz danych i usług informacyjnych w trybie on-line do systemów wsparcia podejmowania decyzji i programów sztucznej inteligencji.

Nowe zasady zarządzania globalnego są określone w systemowej metodzie zarządzania – *zintegrowanym zarządzaniem procesem*. Jej podstawową charakterystyką jest zrzeszenie konsumentów, dostawców i producentów w procesie produkcji. Najbardziej istotny wkład do produkcji to nie surowce, maszyny, pieniądze, a informacja i wiedza. Wiedza – co robić, jak, kiedy i po co – to najważniejszy zasób strategiczny. Siłą napędową przedsiębiorstwa (firmy), podstawowym celem strategii, taktyki i operacji jest zintegrowany nabywca. Występuje on nie tylko w roli konsumenta, lecz również w roli producenta. Nabywcy wiedzą, „co” według nich jest najlepsze i dlaczego, a producenci „jak” to zrealizować. Nabywcy są także podstawowymi inwestorami produkcji. Dzięki swoim zakupom i lojalności, finansują i wspierają większość rodzajów działalności firmy, określają cel, dostarczają wiedzę, uzasadniają jej działalność. Zamiast określać zadania na podstawie prognozowania (mobilizacji wszystkich sposobów i środków do osiągnięcia celu), firmy wolą zwiększać swoją mobilność, elastyczność, szybkość reakcji, po to aby uwzględnić możliwe warianty, które mogą mieć miejsce w przyszłości bez względu na ich prawdopodobieństwo ich zaistnienia. Planowanie oparte jest nie na prognozach i przewidywaniach, a na stworzeniu i ciągłym poszerzeniu zdolności do szybkiego reagowania na gotowości do działania w dowolnych warunkach. Na pierwszy plan wysuwa się tzw. *przedsiębiorczość kinetyczna (kinetyka biznesowa lub korporacyjna)*, w której wszystkie kanały dostępu są otwarte w przypadku wszystkich nabywców i wszystkie zasoby przedsiębiorstwa są dostępne dla każdego nabywcy. Nabywcy konstruują własne stosunki handlowe, towary i usługi. Każdy urzędnik – to „advokat” nabywcy i wszystkie zasoby znajdują się pod kontrolą tych „advokatów”. Reagować na wydarzenia handlowe, to uruchomić wszystkie niezbędne procesy przedsiębiorstwa: zbyć, marketing, opracowanie nowej produkcji, zarządzanie wiedzą i wystawianie rachunków – wszystko to jest wykonywane dla jednego nabywcy. Kinetyka biznesowa – to naturalny wynik skutecznej, w skali całego systemu, produkcji masowej na zamówienie.

W celu operatywnego reagowania na sytuację, która ukształtowała się na rynku i powzięcia właściwych środków, duże organizacje wykorzystują technologie informacyjne. Jednym z aspektów takiego rozwiązania jest masowa produkcja na zlecenie. W tym przypadku sieci informacyjne są wykorzystywane do komunikacji między wydziałami produkcyjnymi a procesami składania

zamówień, projektowania i zbytu gotowej produkcji, przy czym możliwa jest nawet kontrola procesu produkcji. W wyniku powstaje dynamiczna struktura, która zapewnia organizację produkcji zamówionych wyrobów bez ponoszenia dodatkowych kosztów.

Nowa koncepcja bieżącej produkcji towarów na zlecenie otrzymała nazwę „oszczędna produkcja” (ang. Lean Manufacturing). Pozwala ona połączyć wysiłki wszystkich pracowników przedsiębiorstwa, począwszy od zarządu do operatorów automatycznych linii i dostawców części, w jeden zintegrowany system – elastyczny system produkcyjny zdolny do adekwatnej reakcji na popyt rynkowy we właściwym czasie i umożliwiający wielokrotne zwiększenie wydajności pracy i ilości produkcji towarów przy aktualnych mocach produkcyjnych, a także zwiększenie ich jakości, zmniejszenie energochłonności i kosztów produkcji [1.21]. Koncepcję tę można rozpatrywać również jako metodę likwidacji podstawowych strat produkcyjnych, w tym związanych z nadmierną produkcją, nieefektywnym wykorzystaniem funduszu czasu, zbędnymi operacjami obróbki i transportu wyrobów, nadmiarem zapasów materiałowych oraz produkcją wyrobów wadliwych. Wszystkie te straty powstają na wczesnych etapach cyklu życia produktu, począwszy od etapu jego projektowania. Właśnie na początkowych etapach są kształtowane przesłanki kosztów generowanych na etapach kolejnych. Na przykład błędy w dokumentacji inżynierskiej prowadzą do produkcji wadliwych towarów, a nieoptymalnie ułożone drogi technologiczne powodują, że należy wykonywać dodatkowe operacje produkcyjne.

Jednym ze sposobów umożliwiających obniżenie strat i realizację zasady „oszczędnej produkcji” jest koncepcja zarządzania cyklem życia produktu (Product Lifecycle Management – PLM), która umożliwia standaryzację operacji produkcyjnych, gromadzenie niezbędnych danych do analizy bieżącego stanu procesów i kontrolę strat. Zasadnicze cechy takiego podejścia to:

- informacyjna integracja wszystkich procesów w cyklu życia produktu;
- niezależność wyników informacyjnego współdziałania od terytorialnej odległości między jego uczestnikami (mogą oni znajdować się daleko jeden od drugiego – w różnych miastach lub krajach);
- różnorodność informacji, która jest wykorzystywana w środowisku. Dla jej wspólnego wykorzystania są stosowane standaryzowane sposoby i technologie reprezentacji danych oraz ich poprawnej interpretacji;
- globalna sieć – Internet jako podstawowe środowisko transferu danych.

1.3. Globalne koncepcje rozwoju technologii i systemów informacyjnych. Systemy rozproszonego przetwarzania danych

Ważną rolę w rozwoju technologii informacyjnych pełnią koncepcje globalne, do których należą: koncepcja globalnej infrastruktury informacyjnej oraz koncepcja systemów otwartych.

Koncepcje i technologia globalnej infrastruktury informacyjnej (Global Information Infrastructure – GII) zaczęła się kształtować w rozwiniętych państwach w 1995 r. jako ogólnoświatowa informacyjna sieć masowej obsługi ludności w postaci globalnego zintegrowanego środowiska serwisów (usług) telekomunikacyjnych oraz informacyjnych. Informacyjne tworzenie GII było realizowane w oparciu o koncepcję systemów otwartych oraz kompleksowej standaryzacji bazowych technologii sieciowych i sposobów ich integracji. Najważniejsze cechy technologii GII to podstawowe cechy systemów otwartych, ponieważ mają one wysoki stopień zgodności z normami międzynarodowymi.

„Systemem otwartym”, w stosunku do realnie istniejących systemów biologicznych lub socjalnych, są określane systemy, które znajdują się w stanie ciągłej wymiany substancji, energii oraz informacji ze środowiskiem. W technologiach informacyjnych uważa się, że system jest „otwarty” jeżeli posiada cechy otwartości i współpracuje z innymi systemami zgodnie z przyjętymi normami. Dobrym przykładem systemu otwartego jest globalna sieć komputerowa Internet, który łączy różne platformy sprzętowe i oprogramowania, różne wyposażenie komunikacyjne oraz oprogramowanie sieci informacyjnych całego świata. Ideologia systemów otwartych jest realizowana w opracowaniach wszystkich czołowych firm – dostawców sprzętu komputerowego i komunikacyjnego, oprogramowania oraz systemów informacyjnych.

W szerokim znaczeniu **systemem otwartym** można nazwać dowolny system (komputer, sieć komputerową, rozmaity sprzęt i oprogramowanie) zbudowany wg specyfikacji otwartych. **Specyfikacja** w technologiach informacyjnych jest określana jako sformalizowany opis składników sprzętu lub oprogramowania określonego systemu, sposobów jego działania, wzajemnego działania z innymi składnikami, warunków użytkowania, ograniczeń oraz specyficznych charakterystyk w relacjach z innymi systemami. **Specyfikacjami otwartymi** nazywa się ogólnodostępne specyfikacje opracowane zgodnie z normami przyjętymi w wyniku osiągnięcia porozumienia przez wszystkie zainteresowane strony. Zgodnie z tą koncepcją sieć komputerowa lub inny podsystem informacyjny, który składa się z różnego sprzętu i oprogramowania, może być przedstawiona w postaci hierarchicznego otwartego systemu wielopoziomowego, gdzie na każdym poziomie jest rozwiązywany ściśle określony zakres zadań. W przypadku komputera personalnego zasada architektury systemów otwartych (czy po prostu zasada otwartości systemu) przejawia się w reglamentacji i standaryzacji opisu zasady działania komputera i jego konfiguracji (sprzętu i jego połączeń). Dzięki temu można konstruować komputer z poszczególnych zespołów opracowanych i wyprodukowanych przez niezależne firmy produkcyjne. Połączenie różnych urządzeń komputera między sobą umożliwiają jednolite interfejsy (ang. *interface* od *inter* – między, oraz *face* – twarz), które umożliwiają połączenie dwóch urządzeń o zgodnych parametrach fizycznych i logicznych. Komputer można łatwo rozbudować dzięki wewnętrznym slotom, do których użytkownik

może podłączać różne urządzenia, odpowiadające określonej standardowi. W ten sposób można konfigurować komputer zgodnie z osobistymi preferencjami.

Otwarta specyfikacja umożliwia zastosowanie w systemach różnych środków sprzętowych i oprogramowania, ich rozszerzenie i modyfikację, jak również tworzenie zestawów sprzętu i oprogramowania z produktów różnych firm. W przypadku technologii sieciowych zbudowanych z uwzględnieniem zasady otwartości można wymienić następujące zalety:

- możliwość budowania sieci ze sprzętu i oprogramowania pochodzącego od różnych producentów przy przestrzeganiu jednego standardu, co umożliwia dokonywanie zmian wymiarów i granic sieci w szerokim zakresie,
- możliwość wymiany poszczególnych składników sieci na inne, bardziej doskonale, co umożliwia techniczne doskonalenie i rozwój sieci przy minimalnym koszcie,
- możliwość łatwego i szybkiego połączenia różnorodnych sieci, co umożliwia tworzenie globalnych sieci informacyjnych,
- łatwość obsługi sieci.

Określenie „**interakcja systemów otwartych**” dotyczy procedur transferu danych między systemami „otwartymi”, dzięki zastosowaniu odpowiednich standardów. System otwarty jest dostępny do interakcji z innymi systemami zgodnie z obowiązującymi standardami. System otwarty można określić jako system, który może być podłączony do innego systemu otwartego bez żadnych uzupełnień i zmian i posiada cechy otwartości, z których podstawowymi są:

- **mobilność** – właściwość systemu, która określa łatwość przenoszenia oprogramowania i danych (jak również użytkowników) z jednego systemu IT do innego;
- **interoperacyjność** – zdolność systemów do wymiany informacji między sobą i wspólnego wykorzystania tych informacji;
- **rozszerzalność (zdolność do zmiany skali)** – właściwość systemu, która umożliwia jego pracę w szerokim zakresie parametrów określających charakterystyki techniczne i zasoby systemu i/albo środowiska wsparcia (przykładami takich charakterystyk mogą być: liczba procesorów, liczba węzłów sieci, maksymalna liczba obsługiwanych użytkowników itd.);
- **łatwość obsługi** – łatwość relacji użytkownika z systemem, w tym łatwość sterowania.

Dzięki tym cechom są minimalizowane koszty uzyskania cech dziedziczności charakteru i ponownego zastosowania akumulowanego produktu programowo-informacyjnego przy przejściu na nowocześniejsze platformy komputerowe, jak również koszty integracji systemów i zasobów w systemach rozproszonych.

Rozwiązanie problemu otwartości systemów jest oparte na standaryzacji interfejsów systemów i protokołów relacji między jego elementami. Przepisy regulujące następstwo czasowe czy format wydarzeń, zachodzących między obiektami jednego typu (sprzętem czy programami) na jednym poziomie hierarchicznym nazywa się protokołami.

Transfer informacji między komputerami różnych systemów jest bardzo trudnym zadaniem. Podstawowym architektonicznym modelem do realizacji tych zadań jest model referencyjny połączeń systemów otwartych (Open System Interconnection – OSI). Opracowany w wyniku ścisłej współpracy Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (ISO) i Międzynarodowego Komitetu Doradczego do spraw Telefonii i Telegrafii (CCITT); opisany w zaleceniach X.200 (CCITT) oraz ISO 7498 (ISO). Zgodnie z tą koncepcją środowisko informacyjno-komputerowe jest przedstawione w postaci hierarchicznego otwartego systemu wielopoziomowego, gdzie na każdym poziomie rozwiązywane są ściśle określone zadania. Specyfika i skuteczność pracy w środowisku informacyjno-komputerowym w dużym stopniu określana jest przez protokoły organizacji wymiany informacji między obiektami tego samego poziomu oraz interfejsami między obiektami sąsiednich poziomów. Reguły połączeń systemów otwartych i model tych relacji (model OSI, Open System Interconnection) są określone w standardzie ISO 7498.

W systemach rzeczywistych pełna otwartość jest nieosiągalnym ideałem. Z reguły nawet w systemach, które nazywane są otwartymi tej definicji odpowiadają tylko niektóre części obsługujące interfejsy zewnętrzne. Na przykład, otwartość rodziny systemów operacyjnych Unix polega na występowaniu wyspecjalizowanego interfejsu programowego między jądrem a aplikacjami, dzięki czemu można łatwo przenosić aplikacje ze środowiska jednej wersji Unix do środowiska innej wersji. Innym przykładem częściowej otwartości jest zastosowanie w dosyć zamkniętym systemie operacyjnym Novell NetWare otwartego interfejsu Open Driver Interface (ODI) w celu włączenia do niego sterowników adapterów sieciowych niezależnych producentów. Im więcej otwartych specyfikacji wykorzystano przy opracowaniu systemu, tym bardziej jest on otwarty.

Model OSI dotyczy tylko jednego aspektu otwartości, a mianowicie otwartości środków połączenia urządzeń tworzących sieć komputerową. W tym przypadku systemem otwartym jest urządzenie sieciowe gotowe do współpracy z innymi urządzeniami sieciowymi przy zastosowaniu standardowych reguł określających format, treść i wartość wysyłanych lub odbieranych komunikatów.

Przykładem sieci otwartej jest międzynarodowa sieć Internet. Rozwijała się ona zgodnie z wymaganiami stawianymi systemom otwartym. Przy opracowaniu jej standardów uczestniczyło tysiące specjalistów-użytkowników tej sieci z różnych uniwersytetów, organizacji naukowych oraz firm-producentów sprzętu komputerowego i oprogramowania pracujących w różnych krajach. Można wyodrębnić Standardy pracy w sieci (standardy RFC), które dzielą się na: standardy,

projekty standardów, tymczasowe (eksperymentalne) reglamentacje i propozycje (im bardziej nowoczesny standard tym ma większy numer). Nazwa standardów, określających pracę w sieci Internet, Revest For Comments (RFC), w języku polskim oznacza „prośbę o komentarze”, akcentuje ona otwarty charakter standardów. Sieć Internet łączy w sobie liczne platformy sprzętowe i programowe, różnorodny sprzęt i oprogramowanie wielkiej ilości sieci na całym świecie.

Ekonomiczna rentowność realizacji koncepcji systemów otwartych w praktyce opiera się na przejściu do technologii otwartych, tworzy to odpowiednie przesłanki do inwestowania w IT, ponieważ dzięki właściwościom systemów otwartych IT istotnie zwiększa się ostateczna skuteczność ich wykorzystania.

Standaryzacja interfejsów sprzętowych i programowych w oparciu o koncepcję architektury systemów otwartych umożliwiła powstanie rozproszonych systemów obróbki danych, charakteryzujących się: dostępem użytkowników do odległych zasobów, możliwością ich wspólnego wykorzystania oraz decentralizacją obróbki danych. Sieć informacyjno-obliczeniową (SIO) zaczęto traktować jak środowisko rozproszonej obróbki danych i kształtować ją w celu skutecznego świadczenia różnych usług informacyjno-obliczeniowych jej użytkownikom poprzez zorganizowanie wygodnego i niezawodnego dostępu do zasobów rozproszonych w sieci. Większą skuteczność zastosowania komputerów przy połączeniu w SIO uzyskano w wyniku wspólnego wykorzystania środków sprzętowych i programowych składników sieci, umożliwienia dostępu do danych wszystkim jej użytkownikom – bez względu na ich lokalizację geograficzną i odległość od zasobu. Połączenie w sieć zapewniało istotne podwyższenie niezawodności pracy wskutek występowania alternatywnych źródeł informacji.

System informacyjno-obliczeniowy przewiduje połączenie różnorodnego sprzętu, ważnym problemem jest więc jego kompatybilność. Bez przyjęcia przez wszystkich producentów ogólnych reguł budowy sprzętu postęp w zakresie „budowy” skomplikowanych systemów informacyjnych, w tym sieci komputerowych, byłby niemożliwy. Rozwój branży komputerowej znajduje odzwierciedlenie w standardach: każda nowa technologia otrzymuje „legalny” status tylko wtedy, gdy jej treść zostanie odzwierciedlona w odpowiednim standardzie. Sieci komputerowe są oparte na idei wielopoziomowości przy opracowywaniu środków relacji sieciowych.

Wielopoziomowe przedstawienie środków relacji sieciowych jest realizowane w drodze wymiany komunikatów na tym samym poziomie, lecz w różnych węzłach oraz pomiędzy sąsiednimi elementami jednego węzła. Komunikaty są wymieniane według obowiązujących norm.

Sieć informacyjno-obliczeniowa jest rozpatrywana jako **środowisko informacyjno-obliczeniowe (ŚIO)**, zawierające wiele środków sprzętowych i programowych, pionowo podzielone na wiele poziomów logicznych, z których każdy wykonuje jedno z podstawowych zadań ŚIO. W poziomie w ŚIO wyodrębnione są lokalne części (podsystemy), z których każda jest systemem

otwartym, tzn., odpowiada wymaganiom i standardom architektury systemów otwartych. Część systemu otwartego, która realizuje określoną funkcję i wchodzi w skład tego lub innego poziomu nazywa się obiektem. Zestaw reguł relacji obiektów na jednym poziomie nazywa się protokołem. Relacje pomiędzy obiektami poziomów sąsiednich są określone przez interfejsy.

Bardziej dokładna analiza systemu wymiany danych pozwala na wyodrębnienie w nim następujących składników:

- elementy sprzętu (moduły) oraz linie łączności potrzebne do zapewnienia fizycznej wymiany danych, które są nazywane połączeniem,
- reguły, wg których węzły są łączone ze sobą w celu wymiany informacji przy zapewnieniu jej poprawnej interpretacji w procesie odbioru,
- funkcje, które węzły mogą pełnić w sieci. Funkcje te są nazywane usługami lub serwisami, a węzły pracują w taki sposób, aby użytkownicy mogli wspólnie korzystać z usług różnych węzłów.

Zestaw hierarchicznie zorganizowanych poziomów i protokołów nazywa się **architekturą sieci**. Informacje zawarte w specyfikacji architektury zapewniają zestawienie na każdym poziomie sprzętu i oprogramowania, umożliwiającego poprawną obsługę odpowiednich protokołów. Hierarchicznie zorganizowany zestaw protokołów, umożliwiający organizację współpracy węzłów w sieci, zakładający wykorzystanie przez system jednego protokołu na jednym poziomie nazywa się **stosem protokołów komunikacyjnych**.

Koncepcja architektury systemów otwartych przewiduje wyodrębnienie poziomów struktury funkcjonalnej ŚIO wg określonych zasad [1.24]:

1. **Zasada hierarchiczności rozwarstwienia.**

Hierarchiczność rozwarstwienia polega na tym, że zbiory modułów każdego poziomu są ukształtowane w taki sposób, że współdziałają tylko ze sobą i z modułami sąsiednich poziomów. W celu wykonania swoich zadań moduły zwracają się z zapytaniami tylko do modułów niższego sąsiedniego poziomu, a wyniki pracy wszystkich modułów należących do określonego poziomu, mogą być przekazane tylko do modułów wyższego sąsiedniego poziomu. Do modułów innych niższych poziomów moduły danego poziomu mogą zwracać się tylko przez moduły niższego sąsiedniego poziomu.

- #### 2. **Zasada maksymalnej niezależności rozwiązań,** uzyskiwanych na każdym poziomie względem rozwiązań na innych poziomach, a przede wszystkim – na sąsiednich poziomach (górnym i dolnym). Hierarchiczna dekompozycja zadania przewiduje dokładne określenie funkcji każdego poziomu oraz interfejsów między poziomami. Interfejs określa zestaw funkcji, które niższy poziom przekazuje do wyższego. Wskutek hierarchicznej dekompozycji osiąga się względną niezależność poziomów, to znaczy – możliwość ich łatwej wymiany.

3. **Zasada przejrzystości każdego poziomu odnośnie zawartości informacji, która wpływa z górnego poziomu.** Każdemu komunikatowi przekazywanemu z górnego poziomu na dolny poziom towarzyszy informacja o zawartości (tzw. *koperta*) opisująca jej rozmiar i adres docelowy. Każdy poziom odczytuje tylko napis na przeznaczonej mu kopercie, zachowując przejrzystość względem samych danych, które mogą zawierać koperty bardziej wysokich poziomów.

Zapotrzebowanie na duże zasoby informacyjno-obliczeniowe, które są dynamicznie wyodrębniane w celu rozwiązywania skomplikowanych zadań naukowo-matematycznych i obliczeniowych, pracochłonnych zadań w zakresie przetwarzania danych doprowadziło do opracowania technologii sieciowych obliczeń rozproszonych oraz powstania systemów grid (grid – kratka, sieć). Grid z punktu widzenia organizacji sieciowej to otwarte, standaryzowane środowisko informacyjno-obliczeniowe zapewniające niezawodny, elastyczny i ujednolicony dostęp do geograficznie rozproszonych zasobów informacyjno-obliczeniowych i baz danych. Z punktu widzenia użytkownika w toku wykonania zadania czy projektu system grid to wirtualny „superkomputer” o mocy i możliwościach globalnego klastra łączącego poszczególne komputery, stacje robocze, klastry, ośrodki komputerowe należące do różnych osób, organizacji, instytucji i zakładów, usytuowane w różnych punktach świata. Jednocześnie komputer użytkownika także może należeć do takiego globalnego klastra i realizować zadania innych użytkowników.

Następnym etapem rozwoju technologii rozproszonej obróbki danych są technologie chmur obliczeniowych – rozproszona obróbka danych (chmura obliczeniowa – cloud computing) realizowana przy zastosowaniu „rozproszonych” w różnych miejscach zasobów obliczeniowych, jednocześnie stanowiących całościową strukturą obliczeniową. Jest to technologia sieciowa, która w celu zaspokojenia potrzeb użytkowników udostępnia im w postaci serwisów internetowych dodatkowe zasoby i moce komputerowe (mogą to być zarówno stacjonarne systemy komputerowe, jak również laptopy, tablety, smartfony itd.), oprogramowanie, magazyny danych na kilku serwerach oraz rozmaite usługi. W warunkach nierównomierności zapytań do zasobów internetowych ze strony użytkowników są tworzone tzw. „wirtualne serwery”, biorące udział w redystrybucji obciążenia systemu. Zaletą wymienionej technologii w porównaniu z innymi polega na tym, że użytkownicy nie muszą dbać o moce obliczeniowe, infrastrukturę, system operacyjny czy oprogramowanie własnego terminalu lub systemu.

Praktyczna realizacja koncepcji globalnej infrastruktury informacyjnej, u której podstaw leży kompleksowa standaryzacja podstawowych technologii sieciowych i sposobów ich integracji, funkcjonalnych bloków oprogramowania średniego poziomu (middleware), aplikacji i serwisów może przynieść istotny efekt ekonomiczny oraz społeczny.

Globalną infrastrukturę informacyjną można przedstawić w postaci globalnego zintegrowanego środowiska serwisów telekomunikacyjnych i informacyjnych, charakteryzujących się:

- „ciągłą” fizyczną dostępnością serwisów GII w przestrzeni i czasie, tzn. możliwością dostępu do GII w dowolnej chwili i z dowolnego miejsca na świecie,
- techniczną łatwością dostępu do GII realizowanego za pomocą wykorzystania wyspecjalizowanych informacyjnych urządzeń wejścia/wyjścia nowej generacji,
- ogólną dostępnością serwisów GII, przede wszystkim pod względem wartości usług, co umożliwi potencjalnie każdemu człowiekowi za umiarkowaną cenę uzyskiwać dostęp do informacyjnych i telekomunikacyjnych serwisów GII,
- gwarancją zapewniania jakości obsługi i zabezpieczenia informacji w trakcie korzystania z usług GII,
- szerokim asortymentem wyboru świadczonych usług obejmujących wszystkie rodzaje istniejącej informacji: audio, wideo, grafikę, grafikę dynamiczną, dane, dokumenty hypermultimedialne,
- funkcjonowanie w oparciu o odpowiednie uzgodnienia międzynarodowe dotyczące ogólnych zasad zarządzania dostępem do zasobów GII, opartym na bezspoinowym połączeniu wzajemnie powiązanych interoperacyjnych sieci komunikacyjnych, sprzętu komputerowego, baz informacyjnych i terminali informacyjnych.

GII można również przedstawić w postaci kompozycji kilku technologii podstawowych, których integracja w ramach koncepcji może przynieść jakościowe zmiany warunków działalności i życia człowieka. Pakiet bazowych technologii zawiera następujące branże:

- komputerową,
- telekomunikacyjną,
- bytowych urządzeń elektronicznych,
- aplikacji informacyjnych albo serwisów.

Przy tym ważną cechą kombinacji technologii bazowych, spełniających wymagania koncepcji GII, jest ich zgodność, jednolitość i kompletność, w tym sensie, że określają one kompletne scenariusze świadczenia usług serwisowych użytkownikowi końcowemu.

1.4. Podstawowe tendencje rozwoju produkcji przemysłowej i budowy współczesnych systemów maszyn

Elastyczność staje się coraz bardziej ważnym czynnikiem w konkurencji międzynarodowej [1.44]. Klienci mają duże możliwości wyboru produktów, oprócz zapewnienia jakości, także ważna jest szybkość i terminowość dostaw oraz możliwość zaspokojenia ich potrzeb indywidualnych, między innymi z tego powodu rozwój elastycznych systemów produkcyjnych wraz z odpowiednimi rozwiązaniami organizacyjnymi jest istotnym czynnikiem sukcesu. Elastyczność oznacza nie tylko reagowanie we właściwym czasie na zapotrzebowania klientów, ale także zapewnienie elastyczności samej produkcji – jej zdolności do transformacji i przystosowania do zmiennych warunków. Przy dokładniejszej analizie struktury przedsiębiorstwa często okazuje się, że potencjał wzrostu elastyczności jest ukryty w korzystnym wzajemnym powiązaniu bazowych technologii i elastycznej struktury organizacyjnej, a nie w systemach generujących dodatkowe koszty [1.31].

Potencjał rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych jest szczególnie duży w przypadku mało- i średnioseryjnej produkcji, ponieważ właśnie zalety małych przedsiębiorstw i ich zdolność do szybkiej adaptacji oraz umiejętność lepszego „odczuwania” otoczenia, a także szybszego przystosowania się do niego umożliwiają przejście na nowy poziom rozwoju produkcji i właśnie te cechy charakteryzują przyszłych liderów rynku [1.9,1.43].

Szybki rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych, techniki komputerowej i systemów sztucznej inteligencji określił podstawowe tendencje rozwoju produkcji przemysłowej i budowy współczesnych systemów maszyn.

1) Wspomaganie komputerowe całego cyklu życia wyrobu. Zastosowanie technologii informacyjno-komunikacyjnych na bazie zautomatyzowanego sprzętu. Zarządzanie projektowaniem, przygotowaniem produkcji, produkcją, marketingiem i zbytem w oparciu o koncepcję PLM. Koncepcja ta łączy w sobie zasady i technologie informacyjnego wsparcia cyklu życia produktów na wszystkich jego etapach. Jest oparta na wykorzystaniu zintegrowanego środowiska informacyjnego, które zapewnia jednakowe sposoby zarządzania procesami oraz wspólnego działania wszystkich uczestników tego cyklu i jest realizowana zgodnie z wymaganiami norm międzynarodowych określających reguły określonych zasady relacji, głównie za pomocą elektronicznej wymiany danych. Faktycznie, jest to system organizacyjno-techniczny, zapewniający zarządzanie całą informacją o wyrobie i związanych z nim procesach w ciągu całego jego cyklu życia, począwszy od projektowania i produkcji, aż do wycofania z użytkowania. Rdzeniem PLM jest system zarządzania danymi produktu – PDM (Product Data Management), który pozwala na uzyskanie informacji o tym, gdzie i na ile są przekroczone koszty, które z nich można obniżyć, jakie zmiany należy wprowadzić do projektu w razie wymiany sprzętu produkcyjnego itp. [1.18, 1.26].

Zintegrowane środowisko informacyjne (ZŚE) to wspólna przestrzeń informacyjna, w której przy zastosowaniu elektronicznej wymiany danych odbywa się interakcja zleceniodawców produkcji (w tym instytucji i resortów państwowych), projektantów, producentów, dostawców i użytkowników. Jest to faktycznie zbiór rozproszonych baz danych, które zawierają dane o wyrobach, środowisku produkcyjnym, zasobach i procesach przedsiębiorstwa. Wszystkie dane w ZŚE są przechowywane w postaci obiektów informacyjnych. W ramach odrębnego przedsiębiorstwa-producenta ZŚE zawiera ogólną bazę danych o wyrobach oraz ogólną bazę danych o przedsiębiorstwie (o strukturze produkcyjnej i zarządczej, wyposażeniu technologicznym i wspomagającym, personelu, finansach itp.).

ZŚE opiera się na wykorzystaniu architektur otwartych, norm międzynarodowych, wspólnym wykorzystaniu danych oraz na aprobowanych środkach programowo-technicznych.

Zaletami takiego podejścia są [1.34]:

- przyspieszenie wejścia nowych produktów na rynek dzięki zaangażowaniu do procesów projektowania w czasie rzeczywistym wszystkich zainteresowanych uczestników, w tym zewnętrznych dostawców i zleceniodawców,
- udoskonalenie charakterystyk i podniesienie jakości opracowywanej produkcji, wykrycie wad i ograniczeń projektu na wczesnych etapach,
- uzgodnienie projektowania i procesów produkcji – technolodzy stanowią integralną część zespołu projektantów, dzięki czemu projekt od razu powstaje z uwzględnieniem specyfiki procesu produkcji, w tym testowania, kontroli jakości itd.,
- możliwość ewidencji i wykorzystania doświadczenia innych projektów;
- realizacja nowego biznesowego modelu „wirtualnego przedsiębiorstwa” – w proces projektowania i produkcji są zaangażowani dostawcy, lub niektóre prace na określonym etapie cyklu życia produktu są przekazane zewnętrznym firmom w ramach outsourcingu. Taka struktura jest tworzona na okres produkcji konkretnych wyrobów i jest zbiorem samodzielnych powiązanych informacyjnie firm, które faktycznie działają jako oddziały przedsiębiorstwa w celu realizacji określonych zamówień.

Powstanie tymczasowych wirtualnych przedsiębiorstw spowodowało wzrost popytu na układy zdalnego monitorowania i sterowania sprzętem przez sieci zdalnego dostępu.

2) Utworzenie rekonfigurowanych systemów produkcyjnych (RMS), z możliwością zmiany ich układu i przebrojenia przy zmianie obiektu produkcji wskutek bardziej ścisłej integracji, intelektualizacji oraz podniesienia elastyczności systemów zautomatyzowanej produkcji, kompleksów zrobotyzowanych, systemów komputerowych oraz systemów sterowania za pomocą współczesnych

technologii informacyjno-komunikacyjnych, jak również opracowanie i wdrożenie elastycznych koncepcji, zespołowo-modułowej zasady konstrukcji sprzętu, systemów wyposażenia maszynowego, urządzeń i linii montażowych, urządzeń załadunkowych i transportowych, robotów przemysłowych oraz innych środków automatyzacji. Rekonfiguracja oznacza zdolność do regulowania mocy produkcyjnych i funkcjonalności systemu produkcyjnego poprzez zmianę układu wyposażenia lub elementów systemu: obrabiarek, przenośników, mechanizmów w poszczególnych obrabiarkach, nowe czujniki lub algorytmy sterowania, kontrolery.

Zastosowanie systemu maszyn nowej generacji z automatycznie rekonfigurowaną strukturą pozwala na szerokie zastosowanie równoległej organizacji prac na różnych etapach i stadiach produkcji, wymaga jednak ścisłej koordynacji interakcji różnych składników systemu produkcyjnego. Struktura blokowo-modułowa (macierzowa) rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego zapewnia możliwość komponowania wielowymiarowych wirtualnych łańcuchów produkcji o różnej konfiguracji przestrzenno-czasowej. Organizacja produkcji na podstawie podobnych funkcjonalnie redundantnych modułów w postaci rozproszonego środowiska produkcyjno-technologicznego umożliwia jednocześnie (równoległe) wykonywanie dużej części operacji technologicznych obróbki części. Prowadzi to do istotnego wzrostu wydajności, ponieważ pozwala zmniejszyć o 2/3 czas przechodzenia części przez produkcję, minimalizować koszty i zwiększyć obrót zasobów. Najwyższy poziom rozwoju komputerowo zintegrowanej produkcji przewiduje wielopoziomowe usytuowanie systemu maszyn w trójwymiarowej przestrzeni produkcyjnej wykonanej w postaci wielopiętrowych sekcji z pionowymi gałęziami, zapewniającymi przemieszczanie się (redystrybucję) potoków materiałowych między poziomami w celu optymalizacji dynamiki procesu produkcji [1.21].

3) Nowe podejście do budowy nowoczesnego sprzętu technologicznego, w tym przypadku maszyna technologiczna jest rozpatrywana jako jednolity system zawierający: część mechaniczną, proces technologiczny i bezpośrednio system sterowania. Uwzględnia się przy tym ważną własność systemu: system sterowania wraz z nadawcami informacji jest zdolny do usunięcia „wad” mechanicznych maszyny technologicznej. Przy tradycyjnym podejściu, w którym najpierw jest konstruowana część mechaniczna, a dopiero potem zostaje opracowany system, umożliwiający realizację technologicznych zasad obróbki oraz odpowiednich reguł przemieszczenia materiałów. W tym przypadku, optymalnie projektowane elementy systemu, często przy ich połączeniu nie tworzą optymalnego systemu. W ten sposób jedną z podstawowych tendencji rozwoju współczesnego wyposażenia technologicznego jest zapewnienie jednolitości mechaniki i sterowania [1.6].

4) Włączenie do zautomatyzowanego systemu produkcyjnego nowego poziomu sterowania, w celu zapewnienia maksymalnej autonomiczności i zdolności do adaptacji. Do systemów: zautomatyzowanej produkcji, kompleksu

zrobotyzowanego, elektroniczno-obliczeniowego jest wprowadzane więc nowe ogniwo: system inteligentny-system adaptacyjny, który może rozwiązywać problemy wynikłe w warunkach nieprzewidywalnych zakłóceń, zmian w otoczeniu i warunków pracy.

Podstawowa różnica pomiędzy systemami inteligentnymi a informacyjnymi polega na występowaniu mechanizmu systemowego przetwarzania wiedzy, zdolności do „obcowania”, „rozumienia” i „nauki”. Wiedza – to wyrażona w pewnym języku relacji szczególna postać informacji będąca całokształtem ustrukturuowanych danych, faktów, norm, prawidłowości, relacji, zasad, związków, praw i reguł heurystycznych dotycząca dziedziny przedmiotowej, uzyskana w wyniku działalności praktycznej i doświadczenia zawodowego, przedstawiona w rozmaitej postaci i połączona relacjami składniowymi, semantycznymi i pragmatycznymi. Wykładniczy wzrost ilości różnorodnych danych, podwyższenie wymagań do szybkości ich przetwarzania i analizy w celu zapewnienia możliwości operacyjnego powzięcia decyzji we właściwym czasie wymaga zastosowania metod sztucznej inteligencji. Współczesny inteligentny system informacyjny to zestaw technologii informacyjnych, umożliwiający pracę z danymi oraz informacją, dostęp do wiedzy, zarządzanie zasobami wiedzy i otrzymanie nowej wiedzy [1.24].

Ekspertowy system sterowania, może umożliwić znaczące przyspieszenie opracowania skomplikowanego układu sterowania, podniesienie jakości realizowanego zadania, a także zapewnić oszczędność zasobów w wyniku skutecznego podziału funkcji sterowania pomiędzy centralny oraz lokalne podsystemy pomiarowe i zarządcze. Efekt jest osiąganym wskutek otwartości systemu dostarczania wiedzy o obiekcie sterowania, zdolności systemu do adaptacji do warunków funkcjonowania, automatycznej korekty czynników sterujących przy zmianie istotnych parametrów w procesie funkcjonowania [1.6].

5) Wdrożenie elementów sztucznej inteligencji do produkcji. Sztuczna inteligencja zastosowana w zakładach przemysłowych umożliwia, na przykład: rozpoznawanie części oraz ich powierzchni z punktu widzenia jakości oraz zgodności wymiarów geometrycznych z rysunkami, sterowanie procesem technologicznym i powzięcie decyzji w sprawie jego zmiany [1.15]. Aktualnie przemysł już opanował produkcję wielu rozwiązań, na przykład: robotów-obrabiarek, których schemat kinematyczny pozwala na wykonywanie jednoczesnej obróbki oraz operacji transportowych. Wykorzystanie mechanizmów struktury równoległej już umożliwi rozszerzenie inteligentnych możliwości maszyn technologicznych.

Inteligentność robotów przemysłowych ujawnia się w ich zdolności do automatycznego rozpoznawania jakości obrabianej powierzchni, kontrolowania warunków obróbki oraz ich korygowania zależnie od postawionego celu, na przykład można: minimalizować błędy, obniżyć zużycie energii, wybierać technologię obróbki zależnie od typu części i wymagań i danych wyjściowych.

Jedną z podstawowych tendencji rozwoju przemysłowych systemów inteligentnych są badania wykorzystujące neurocybernetykę, umożliwiające opracowanie systemów, które wykazują „inteligentne” zachowanie w oparciu o architektury, przypominające budowę mózgu, które nazywane są sieciami neuronowymi. Innym opcjonalnym podejściem do budowy systemów sztucznej inteligencji są algorytmy genetyczne oparte na zasadach ewolucji biologicznej.

6) Przeniesienie obciążenia funkcjonalnego z węzłów mechanicznych na składniki intelektualne (elektroniczne, komputerowe). Udział mechanicznej części we współczesnej budowie maszyn obniżył się z 70% na początku lat 90 XX w. do 25–30% w obecnej chwili.

1.5. Organizacja strukturalna elastycznych systemów produkcyjnych

Środki techniczne zautomatyzowanej elastycznej produkcji, wyroby i wykonawcy, połączone wspólnym celem przemysłowym, tworzą elastyczny system produkcyjny. Takie systemy są stosowane w wielu gałęziach przemysłu, a szczególnie w przemyśle maszynowym jako najbardziej dynamicznym.

Przejście od gniazd obrabiarek uniwersalnych do ESP umożliwia polepszenie jakości produktów, zwiększenie obciążenia obrabiarek i wydajności produkcji, zmniejszenie powierzchni produkcyjnej, ilości pracowników oraz zapasów produkcji w toku.

Według [1,11] elastyczny system produkcyjny – to zestaw urządzeń z CNC, zrobotyzowanych systemów technologicznych (RTC), elastycznych modułów produkcyjnych (EMP), urządzeń i układów technologicznych odpowiednio zestawiony w celu zapewnienia funkcjonowania w trybie automatycznym przez określony czas, charakteryzujący się możliwością automatycznego rekonfigurowania w celu produkowania wyrobów o parametrach odpowiadających określonemu zakresowi.

Funkcje ESP obejmują: harmonogramowanie, księgowość, w tym określanie kosztów pośrednich, planowanie i kontrolę przebiegu i jakości produkcji, określanie niezbędnych urządzeń technicznych i ich odpowiednie konfigurowanie oraz automatyczne zarządzanie nimi, diagnostykę urządzeń, konserwację, naprawę i czyszczenie sprzętu, odprowadzanie odpadów. W zależności od tego, które z tych funkcji są wykonywane w sposób zautomatyzowany, odpowiedniej zmianie ulega struktura ESP.

Sprzęt w ESP można podzielić na podstawowy, tworzący podsystem technologiczny oraz obsługujący, włączony do systemu w celu zapewnienia jego funkcjonowania.

Podsystem technologiczny ESP w przemyśle maszynowym może obejmować obrabiarki z CNC, RTC, EMP oraz poszczególne elementy wyposażenia technologicznego zapewniające kompleksowość procesu wytwórczego, na przykład możliwość obsługi urządzeń takich jak: obrabiarki do obróbki skrawaniem, maszyn do obróbki cieplnej, itp. [1,28, 1,11].

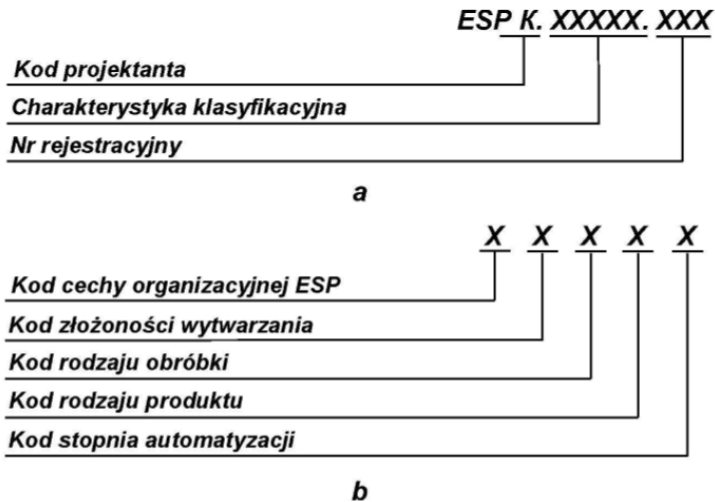
Podsystem technologiczny ESP w przemyśle opakowaniowym może składać się z maszyn do pakowania produktów, plombowania, etykietowania i oznaczania paczek; RTC do zestawiania pakietów transportowych oraz poszczególnych elementów wyposażenia technologicznego do realizacji czynności kontrolnych. System również może zawierać urządzenia nieautomatyczne do mycia pojemników polimerowych, urządzenia do formowania palet transportowych i inne. Elastyczność urządzeń jest zapewniana poprzez zastosowanie modułowych jednostek funkcjonalnych, które można dostosować do różnych rodzajów materiałów lub opakowań. Coraz więcej jest wielofunkcyjnych systemów do pakowania, które również wykonują operacje ważenia, napełniania, mycia, sortowania produktów, odkażenia i inne. Podczas pakowania produktów płynnych stosowane są maszyny o zwiększonej elastyczności, umożliwiające szybką zmianę kształtu i wymiarów opakowania dzięki zastosowaniu np. etykiety termokurczliwej.

Podsystem zapewniający funkcjonowanie ESP – zestaw połączonych zautomatyzowanych systemów, umożliwiający projektowanie produktów, przygotowanie technologiczne ich produkcji, komputerowe zarządzanie ESP oraz automatyczne przemieszczanie elementów wyposażenia, narzędzi i przyrządów. Na ogół obejmuje on zautomatyzowany system transportowania i magazynowania (ZSTM); zautomatyzowany system magazynowania narzędzi (ZSMN), automatyczny system sterowania (ASS), automatyczny system usuwania odpadów (ZSUO), zautomatyzowany system kontroli procesu (PCS), zautomatyzowany system Badań Naukowych (ZSBN), automatyczny system przygotowania technologicznego produkcji (ZSTPP) itp. [1,11].

ESP jest klasyfikowany według następujących kryteriów: organizacyjnego, złożoności wytwarzania produktu; rodzaju obróbki; rodzaju wytwarzanych produktów, stopnia automatyzacji (rys. 1.1).

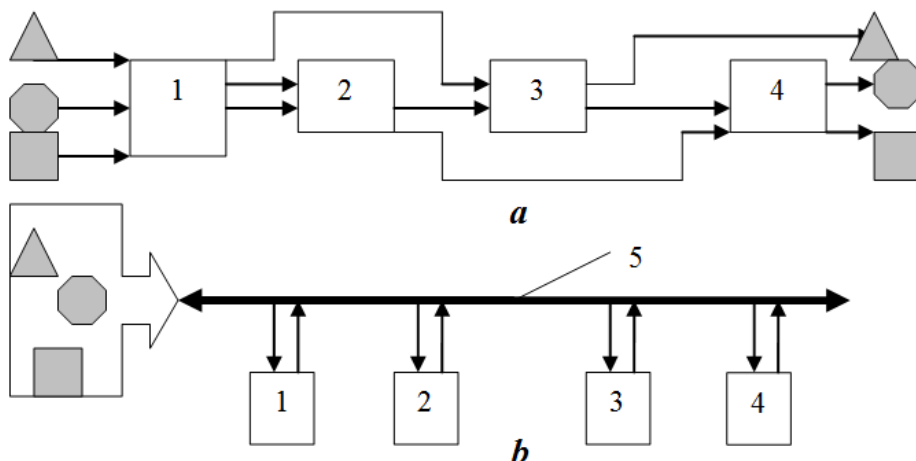
Według kryterium organizacyjnego wyodrębnia się trzy rodzaje ESP (ang. Flexible Manufacturing System – FMS) [1.12]:

- Elastyczne linie produkcyjne (ELP),
- Elastyczne gniazda produkcyjne (EGP),
- Elastyczne oddziały produkcyjne (EOP).



Rys. 1.1. Struktura oznaczenia (a) oraz kod klasyfikacyjny ESP (b)

Elastyczna linia produkcyjna – to ESP, który składa się z elastycznych modułów produkcyjnych, zrobotyzowanych systemów technologicznych i innego sprzętu technicznego, rozmieszczonych zgodnie z sekwencją operacji produkcyjnych wzdłuż głównej marszruty transportowej (rys. 1.2 a). Elastyczność ELP zależy od zdolności do wykonywania dowolnej operacji z określonej listy. Nie przewiduje się możliwości zmiany kolejności zastosowania sprzętu technologicznego.



Rys. 1.2. Schemat ELP (a) i EOP (b): 1–4 – maszyny technologiczne, 5 – trasa transportu

Elastyczne gniazdo produkcyjne – ESP, w którym jest możliwość zmiany kolejności wykorzystania urządzeń technologicznych (rys. 1.2 b). Elastyczność takiego systemu technologicznego jest wyższa niż ELP, ponieważ jest możliwość zastosowania przypadku każdego elementu innej marszruty technologicznej.

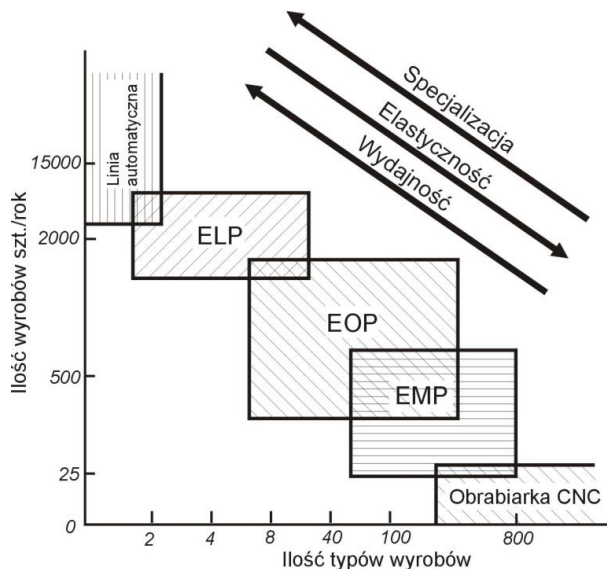
Elastyczny oddział produkcyjny – ESP, który łączy w sobie ELP, EGP i poszczególne elementy wyposażenia procesowego (maszyny technologiczne, automaty, systemy robotyki, elastyczne moduły produkcyjne, maszyny z ręcznym sterowaniem, itp.) niezbędne do produkcji lub pakowania towarów określonych rodzajów.

Wybór rodzaju ESP zależy od kilku czynników, z których główne to zakres i wielkość produkcji. ELP znajdują zastosowanie w produkcji 2–30 typów wyrobów, a EOP – 6–159 (rys. 1.3).

Według złożoności wytwarzania produktów lub opakowań rozróżniane są elastyczne systemy produkcyjne: o specjalizacji technologicznej, o specjalizacji przedmiotowej, kompleksowe, układowe.

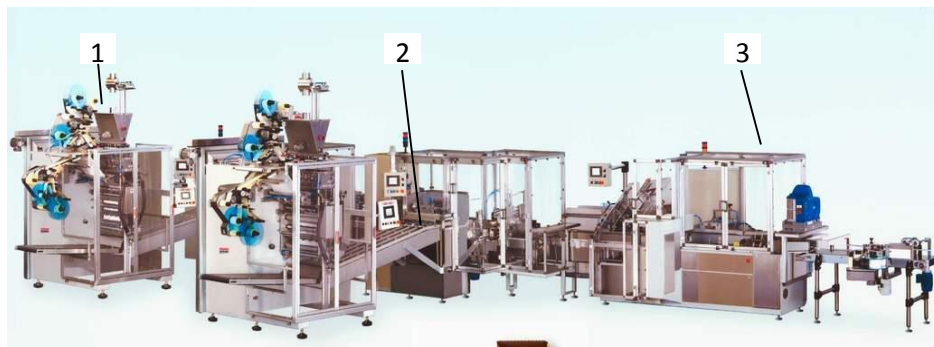
ESP o specjalizacji technologicznej wykonuje jednorodne operacje przy określonym zakresie produktów, na przykład: ESP do prasowania, ESP do formowania wtryskowego, ESP do opakowania produktów lepkich.

ESP o specjalizacji przedmiotowej wykonuje pełną obróbkę określonej grupy części lub pakowania określonej grupy produktów, np. FMS do obróbki wałów, ESP do produkcji butelek PET, ESP do pakowania piwa w butelkach szklanych itd.



Rys. 1.3. Zależność formy organizacyjnej ESP od ilości typów i rocznej wielkości produkcji części

ESP do pakowania produktów sypkich jest przedstawiony na rys. 1.4. Można w nim zaobserwować różne materiały opakowaniowe stosowane do pakowania cukru, soli, pieprzu, herbaty, koncentratów napojów, granulek chemicznych i farmaceutycznych. Rodzaje organizacyjny ESP są kodowane w następujący sposób: 1 – ELP; 2 – EOP; 3 – EGP; 4–9 – rezerwa [1.13].



Rys. 1.4. ESP do pakowania produktów sypkich: 1 – maszyna do pakowania, 2 – przenośnik wyjściowy, 3 – maszyna do formowania opakowań transportowych

ESP kompleksowy służy do wytwarzania części o określonych wymiarach.

Tab. 1.1. Kodowanie rodzajów obróbki

Typ obróbki	Kod
Odewanie	1
Obróbka plastyczna	2
Spawanie i lutowanie	3
Obróbka skrawaniem	4
Obróbka cieplna	5
Powlekanie	6
Montaż	7
Kontrola i testowanie	8
Wielorodzajowa i inne	9

Tab. 1.2. Kodowanie klas wyrobów

Typ wyrobu	Kod
Korpusy (obudowy)	1
Części płaskie	2
Części obrotowe	3
Inne części	4
Części uniwersalne	5
Części złożone	6
Rezerwa	7–9

ESP do części określonej klasy produkuje części należące do określonej klasy.

Przykłady ESP do części określonej klasy to: system do produkcji cylindrów pneumatycznych kilku typowymiarów, system do produkcji zaworów odcinających itd.

Takie ESP są kodowane w następujący sposób: 1 – ESP o specjalizacji technologicznej, 2 – ESP o specjalizacji przedmiotowej, 3 – ESP kompleksowe; 4 – ESP do części określonej klasy, 5–9 – rezerwa [1.11].

Kodowanie rodzajów obróbki, klas wyrobów i stopni automatyzacji jest pokazane w tabelach 1.1–1.3.

Każdy ESP można więc opisać kodem z pięciu cyfr. Na przykład, kod K.22411.001 oznacza EOP do obróbki korpusów metodą obróbki skrawaniem.

Tab. 1.3. Stopnie automatyzacji ESP

Funkcje ESP	Kod		
	1	2	3
Gromadzenie materiałów, półfabrykatów, sprzętu, narzędzi w magazynie	+	+	+
Transportowanie materiałów, półfabrykatów, sprzętu, narzędzi do stanowiska pracy	+	+	+
Sterowanie procesem	+	+	+
Zabezpieczenie awaryjne	+	+	+
Zmiana programów sterujących	+	+	+
Załadowanie-rozładowanie materiałów, narzędzi, wyrobów	–	+	+
Podawanie materiałów pomocniczych do stanowiska pracy	–	+	+
Usuwanie odpadów	–	+	(+)
Instalacja i mocowanie na paletach	–	–	+
Kontrola jakości	–	–	+
Inne	–	–	(+)

1.6. Podsystem technologiczny ESP

Podsystem technologiczny jest ważnym, ze względu na jego eksploatację i funkcje, podsystemem ESP. Obejmuje maszyny technologiczne o różnym stopniu automatyzacji i autonomii działania na tokarki CNC, elastyczne moduły produkcyjne, roboty przemysłowe i maszyny z systemem sterowania numerycznego, zautomatyzowane maszyny technologiczne oraz stanowiska pracy ręcznej.

1.6.1. Maszyny technologiczne CNC

Przydatność urządzeń technologicznych do pracy w ESP jest określana przez ich zdolność do niezależnego funkcjonowania w trybie automatycznym i elastyczność, tj. możliwość szybkiego rekonfigurowania do innego rodzaju produkcji. Najpełniej takie wymagania spełniają urządzenia z komputerowym sterowaniem numerycznym (CNC). Na obrabiarkach CNC można wykonywać obróbkę zgrubną oraz wykańczającą. Wyposażone są one w magazyny narzędziowe, duża ich uniwersalność oraz mobilność jest uzyskiwana w rezultacie szybkiej zmiany programów sterujących. W oparciu o obrabiarki CNC są budowane systemy, zawierające urządzenia akumulacji półfabrykatów i narzędzi, zespoły załadunku i rozładunku części, kontroli części, diagnostyki sprzętu i narzędzi, itp.

Program sterowania obróbką części na maszynie zawiera informacje o: cyklu obróbkowym (sekwencji zabiegów), rodzaju przetwarzania, tj. szybkości przemieszczania organów wykonawczych, geometrycznych danych o zakresie przemieszczania organów wykonawczych [1.28, 1.25].

System sterowania numerycznego umożliwia wprowadzenie dużej części informacji (sposobu i zasad obróbki) w postaci numerycznej przy pomocy pilota zdalnego sterowania, klawiatury lub wtyczki, a pozostałej geometrycznej o długości przemieszczenia organów roboczych – za pomocą ograniczników umieszczonych na specjalnych linijkach lub bębnach. Rekonfigurowanie takich systemów jest czasochłonne, więc mają one niską mobilność.

System CNC umożliwia zaprogramowanie sposobów przetwarzania i wielkości przemieszczenia organów wykonawczych przy zastosowaniu liter i cyfr. Systemy CNC są klasyfikowane zgodnie z następującymi kryteriami:

- zdolność funkcjonalna,
- sposób kontroli ruchu,
- rodzaj przepływu informacji w systemie sterowania.

Według funkcjonalności wyróżnia się cztery rodzaje CNC [1.28, 1.14].

System **NC (Numerical Control)** zapewnia przetwarzanie według programu, zapisanego w postaci alfanumerycznej na taśmie perforowanej. Użytkowany jest w starych obrabiarkach.

System **HNC (Hand Numerical Control – ręczne sterowanie numeryczne)** umożliwia wprowadzenie programu przy pomocy pilota. Jego odmianą jest system **TNC (Total Numerical Control)** – zawiera zewnętrzną pamięć do przechowywania programów sterujących.

W literaturze technicznej ten rodzaj systemu jest często nazywany Operacyjnym Systemem Sterowania.

Autonomiczny układ **CNC (Computer Numerical Control)** – zakłada wykorzystanie mini i mikrokomputerów.

Do sterowania grupą obrabiarek stosowany jest system **DNC (Direct Numerical Control** – bezpośrednie sterowanie numeryczne).

Według rodzaju ruchu organów roboczych wyróżnia się sterowanie punktowe, odcinkowe i kształtowe. Sterowanie punktowe dotyczy zasadniczo ruchów przesuwnych i ustawczych narzędzia względem przedmiotu. Nie obejmuje ono ruchów podstawowych – posuwowych. Nie jest przy tym istotne, po jakim torze porusza się narzędzie względem przedmiotu przy przemieszczeniu z jednego punktu do drugiego. Służy do sterowania wiertarkami i wytaczarkami, robotami przemysłowymi.

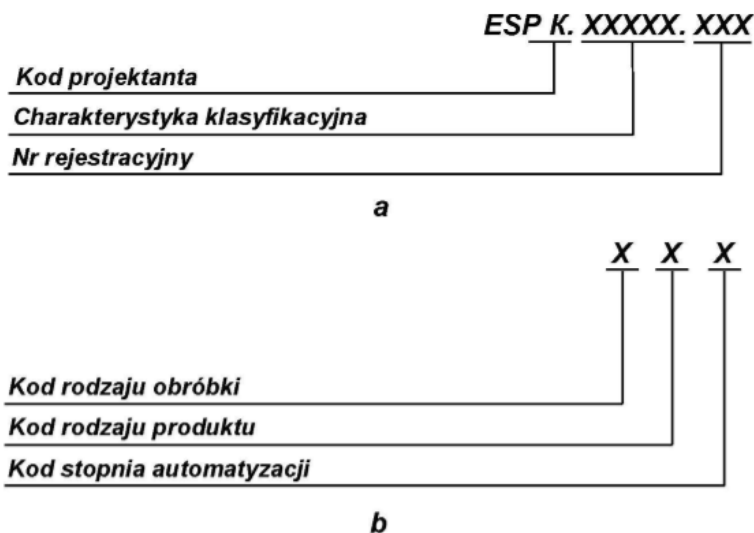
Sterowanie odcinkowe obejmuje zarówno ruchy posuwowe, jak i przesuwowe (ustawcze). Tor narzędzia względem przedmiotu jest zadany w postaci szeregu punktów, między którymi ruch odbywa się według odcinków wyznaczonych prowadnicami obrabiarki. W obrabiarkach ze sterowaniem odcinkowym w zasadzie nie jest możliwy równoczesny ruch w kilku kierunkach wzdłuż prowadnic. System ten służy do sterowania tokarkami, frezarkami, szlifierkami.

Sterowanie kształtowe obejmuje wszystkie przypadki, w których tor narzędzia względem przedmiotu jest dowolną (z góry pokreśloną) linią. Cechą charakterystyczną jest współzależność składowych ruchów posuwowych wzdłuż kilku osi współrzędnych równoległych do kierunku osi prowadnic, uzyskiwana nie przez powiązania kinematyczne zespołów roboczych, lecz za pośrednictwem układu sterującego.

1.6.2. Elastyczne moduły produkcyjne

Elastyczny moduł produkcyjny (EMP) – urządzenie sterowane numerycznie do wytwarzania wyrobów w szerokim zakresie ich właściwości, pracujące samodzielnie i automatycznie, wykonujące funkcje związane z produkcją, może być elementem składowym elastycznego systemu produkcyjnego [1.12]. W celu zapewnienia autonomii obrabiarka CNC, jako element bazowy modułu, jest wyposażona w urządzenia pomocnicze.

EMP są klasyfikowane według następujących kryteriów [1.12]: rodzaje obróbki, klasa wytwarzanych wyrobów i stopnia automatyzacji. Struktura oznaczenia EMP i kodu klasyfikacyjnego są przedstawione na rys. 1.5. Kod rodzaju obróbki oraz wytwarzanego wyrobu odpowiadają kodowi ESP (tab. 1.1, 1.2). Kod stopnia automatyzacji jest przedstawiony w tab. 1.4.



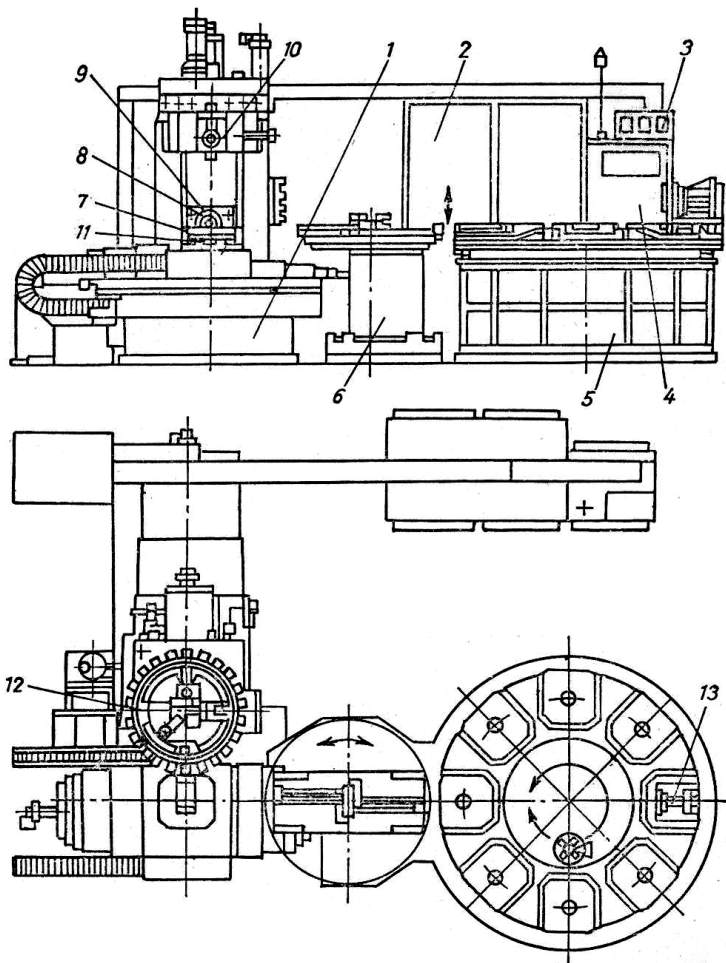
Rys. 1.5. Struktura oznaczenia (a) i kod klasyfikacyjny EMP (b)

ESP na bazie obrabiarki wielofunkcyjnej IR500MF4, przeznaczony do obróbki korpusów, jest oznaczony kodem trzycyfrowym: ESP.I.411.001.

Tab. 1.4. Kod automatyzacji EMP

Funkcje ESP	Kod		
	1	2	3
Obróbka	+	+	+
Załadowanie-rozładowanie wyrobu	+	+	+
Zmiana narzędzi	+	+	+
Oczyszczanie pola roboczego	+	+	+
Zmiana programu sterującego	+	+	+
Kontrola i regulowanie narzędzi	-	+	+
Kontrola jakości obróbki	-	+	+
Wymiana zestawów narzędzi	-	-	+
Wymiana zespołów zamocowania	-	-	+
Adaptacja do rodzaju obróbki	-	-	+

Przykładowo, EMP do obróbki korpusów na bazie obrabiarki wielofunkcyjnej zawiera magazyn palet z zamocowanymi na nich półfabrykatami, urządzenie do wymiany palet, magazyn narzędzi oraz robot do ich wymiany. Zestaw urządzeń pomocniczych umożliwia autonomiczne funkcjonowanie ESP w ciągu kilku godzin.



Rys. 1.6. ESP na bazie obrabiarki wielofunkcyjnej IR500MF4:
 1 – obrabiarka, 2 – szafa elektryczna, 3 – system sterowania, 4 – system CNC,
 5 – magazyn palet, 6 – urządzenie do wymiany palet, 7 – paleta,
 8 – głowica, 9 – wrzeciono, 10 – robot, 11 – stół obrotowy,
 12 – magazyn narzędzi, 13 – kasetta z narzędziami

Na obrabiarkach CNC wyposażonych w magazyny narzędzi i urządzenia do automatycznej ich wymiany, można wykonywać frezowanie, toczenie, wiercenie, rozwiercanie i inne prace. Obrabiarki wielofunkcyjne możemy podzielić na dwie grupy:

- 1) do obróbki korpusów oraz części płaskich,
- 2) do obróbki części obrotowych.

Centra obróbcze, które są stosowane do obróbki korpusów oraz części płaskich, można podzielić, w zależności od położenia osi wrzeciona, na:

- 1) poziome, w których oś wrzeciona jest położona poziomo (IR500MF4, IR320PMF4, 2204WMF4),
- 2) pionowe o pionowej osi obrotu wrzeciona (2254 WMF4),
- 3) wielowrzecionowe (6M610MF4) [1.33].

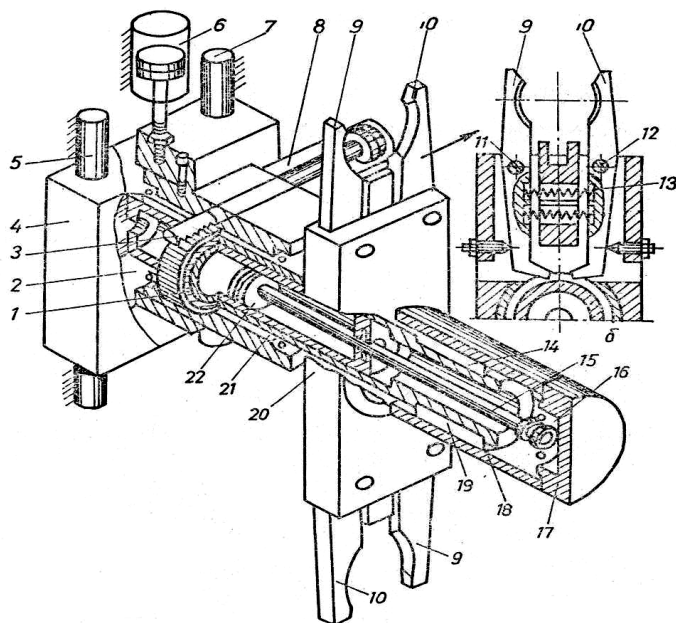
Obrabiarki wielofunkcyjne, mają dużą pojemność magazynów narzędziowych (120 narzędzi), umożliwiają więc realizację na jednym stanowisku pracy różnych rodzajów obróbki skrawaniem (toczenie, roztaczanie, frezowanie, wiercenie, gwintowanie itp.). Umożliwiają obróbkę zgrubną i wykańczającą z dokładnością IT 6–7. Obrabiarki wielofunkcyjne mają sterowanie kształtowe CNC, bezstopniową regulację prędkości wrzeciona oraz prędkości posuwu. Pozioma obrabiarka wielofunkcyjna, na przykład IR500MF4 jest przeznaczona do obróbki korpusów [1.10]. Wyposażona jest w głowicę 8 (rys. 1.6) z wrzecionem 9, oraz stół obrotowy [1.33]. Na górnym końcu podnośnika jest zamontowany magazyn narzędzi 2, a na obrotowej platformie 6, są umieszczone dwie palety 7 do części obrabianych oraz robot 10 do zmiany narzędzi.

Parametry techniczne obrabiarki IR500MF4:

- wymiary powierzchni roboczej stołu: 500 × 500 mm,
- prędkość wrzeciona: 2–3000 min⁻¹,
- moc napędu głównego: 14 kW,
- maksymalne przemieszczenie:
 - stół (oś X): 800 mm,
 - wrzeciono (oś Y): 500 mm,
 - podnośnik (oś Z): 500 mm,
- prędkość posuwu: 1–2000 mm/min,
- liczba narzędzi w magazynie: 30,
- dokładność położenia – 0,025 mm ,
- maksymalna długość narzędzia – 300 mm.

Samodzielność pracy zapewniają automatyczne urządzenia pomocnicze, z których najważniejszym jest robot do wymiany narzędzi oraz urządzenie do automatycznej zmiany palet.

Robot ma dwa chwytaki 9 i 10 mające możliwość obrotu wokół osi 11 i 12 (rys. 1.7). Chwytaki są zamontowane w obudowie 20 połączonej z tuleją 18. Podczas przemieszczania tłoka 22 cylindra 21 tłoczyisko 15 przenosi tuleję 18. Ten ruch umożliwia wysunięcie narzędzia z magazynu lub wrzeciona. Cylinder 8 jest podłączony do szyny 3, umożliwiając obrót o 180° korpusu 20 za pomocą przekładni zębatej 2 obudowy 1. Prawa część obudowy jest połączona kołkami 14 i 19 z tuleją 13. Podczas chwytania narzędzia cylinder 6 podnosi korpus 4 do pozycji górnej wzdłuż prowadnic ślizgowych 5 i 7. Trzpień z narzędziami jest utrzymywany sprężynami 13.

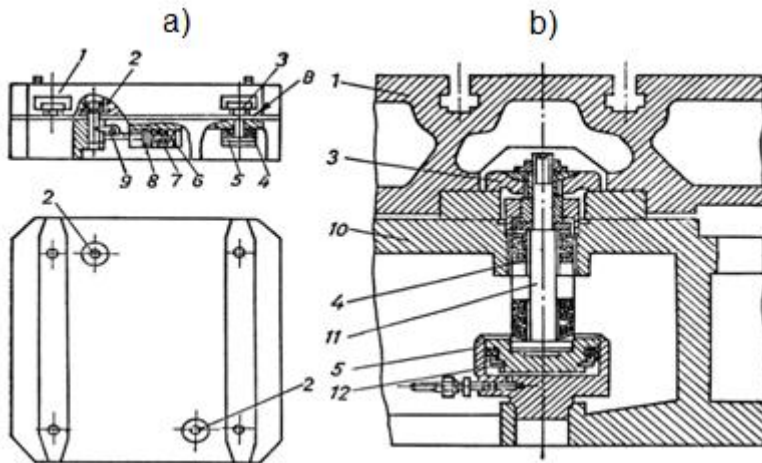


Rys. 1.7. Robot do zmiany narzędzi: 1 – obudowa; 2 – przekładnia zębata; 3 – szyna; 4 – korpus; 5, 7 – prowadnice; 6, 8, 21 – cylindry; 9, 10 – chwytaki; 11, 12 – osie; 13 – sprężyna; 14, 19 – kolki; 15 – tłoczysko; 16 – łożysko; 17 – pokrywa; 18 – tuleja; 20 – korpus; 22 – tłok

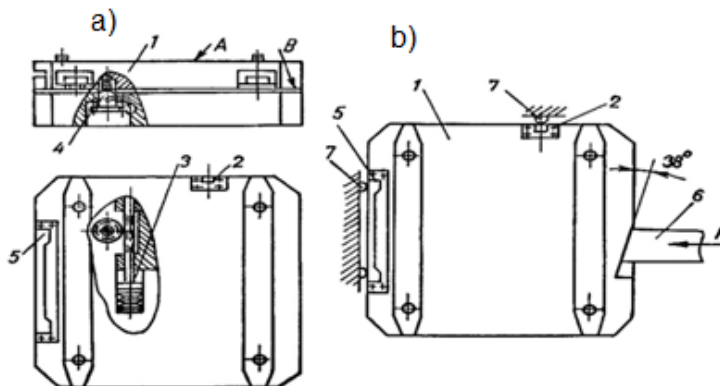
Urządzenie do automatycznej zmiany palet służy do połączenia obrabiarki z magazynem, zamontowanym na paletach [1.33]. Konstrukcja palety jest pokazana na rys. 1.9, a urządzenia wymiany palet na rys. 1.10. Paleta 11 jest zamontowana na płycie 7 z cylindrami 10 i 13, na tłoczyskach, na których znajdują się zaciski 6 i 14 w kształcie litery T, które łączą płytę z paletą przy pomocy rowka 12. Cylindry 8 ustalają paletę, przemieszczając się po rolkach 9 do obrabiarki. Paleta jest opuszczana, a uchwyty 6 zwalniają paletę. Stół szybko przemieszcza się do przestrzeni obróbkowej. Po zakończeniu obróbki, stół przesuwają do urządzenia wymiany palet do czasu, aż rowek znajdzie się pod uchwytem 8, przy pomocy którego paleta jest przemieszczana w miejsce, gdzie znajduje się paleta z nowym półfabrykatem. W celu wymiany palet, cylindry 5 i 16, za pomocą koła zębatego 3 i zębatego 4, obracają płytę 7 o 180°. Śruby 2 i 17 są wykorzystywane do pozycjonowania urządzenia.

W ESP są stosowane dwa rodzaje palet: z prowadnicą w kształcie litery T i otworami montażowymi; z dwiema prowadnicami w kształcie litery T i systemem rowków montażowych w kształcie litery T. Do rozmieszczenia palet na stole obrabiarki jest wykorzystywany jeden ze schematów zamocowania: na płaszczyźnie przy pomocy dwóch otworów (rys. 1.8) lub kąta współrzędnych (rys. 1.9).

Podczas zamocowania palety na płaszczyźnie przy wykorzystaniu dwóch otworów, tłok 8 cylindra 6, poruszany sprężyną płytową 7, przesuwając dźwignię 9 zaczepu 2 do otworów 1. Paleta jest mocowana listwami przy pomocy sprężyn 4 zamontowanych w czterech cylindrach hydraulicznych 5. Zwolnienie palety umożliwiają cylindry 5, w których w komorze roboczej 12 znajduje się olej.

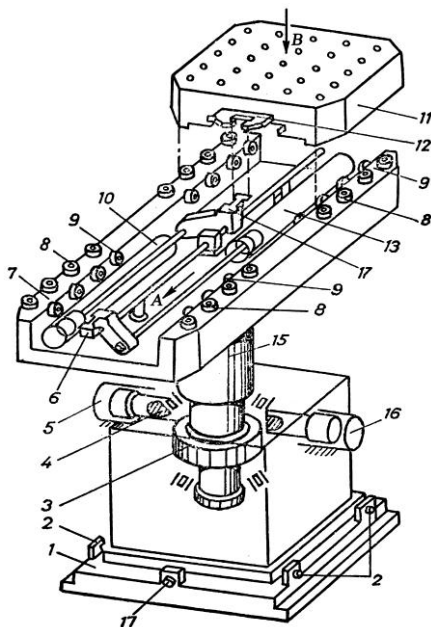


Rys. 1.8. Urządzenie do mocowania palet (a) i mechanizm zaciskowy (b):
 1 – paleta; 2 – zaczep; 3 – listwy; 4, 7 – sprężyny; 5, 6 – cylindry;
 8 – tłok; 9 – dźwignia; 10 – stół; 11 – tłoczek; 12 – komora robocza



Rys. 1.9. Urządzenia mocujące palety: mimośrodowe (a) i klinowe (b): 1 – paleta;
 2, 5 – listwy; 3 – cylinder; 4 – trzpień; 6 – tłoczek klinowy; 7 – podpora

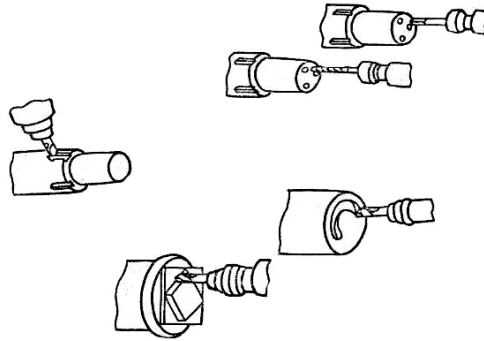
Podczas zamocowania palety według kąta współrzędnych (rys. 1.9) komora robocza cylindra 3 jest podłączana do odpływu, sprężyny płytowe poprzez mechanizm bagnetowy i przekładnię zębatą wysuwają mimośrodowy sworzeń 4 i obracając go, przyciskają paletę do powierzchni listew 2 i 5.



Rys. 1.10. Urządzenie do automatycznej wymiany palet: 1 – podstawa; 2, 17 – śruby; 3 – koło zębate; 4 – zębatka; 5, 10, 13, 16 – cylindry; 6, 14 – uchwyty; 7 – płyta; 8, 9 – rolki; 11 – palety; 12 – rowek; 15 – tuleja

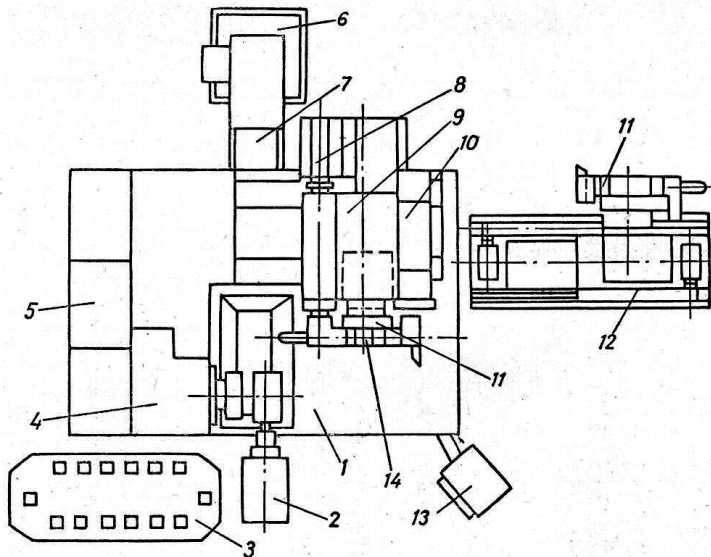
Paleta jest mocowana w taki sam sposób jak poprzednio. Mocowanie palety według kąta współrzędnych może być również wykonane przy zastosowaniu mechanizmu klinowego (rys. 1.9 b). Przekładnia łańcuchowa przenosi paletę do powierzchni roboczej, na odległość około 2 mm do prowadnicy oraz 5 mm do listwy. Boczna powierzchnia palety, współdziałająca z klinowym mechanizmem 6, jest ścięta pod kątem $\alpha = -38^\circ$. Siła F przenosi paletę do prowadnicy, a następnie przesuwa po klinie do listwy.

ESP, na bazie tokarek CNC, są stosowane do wytwarzania części osiowo-symetrycznych. Zastosowanie obrotowych narzędzi napędzanych umożliwia wykonywanie oprócz toczenia również frezowanie rowków, wiercenia otworów, itp. (rys. 1.11).



Rys. 1.11. Możliwości technologiczne obrabiarki

Na przykład, ESP IRT 180PMF4, posiada magazyn narzędzi i półfabrykatów [1.33] (rys. 1.12). W głowicy rewolwerowej można umieścić 12 narzędzi, co umożliwia wykonanie wielu zabiegów technologicznych. Wymiary średnicowe można wykonać z dokładnością ± 0.012 mm.

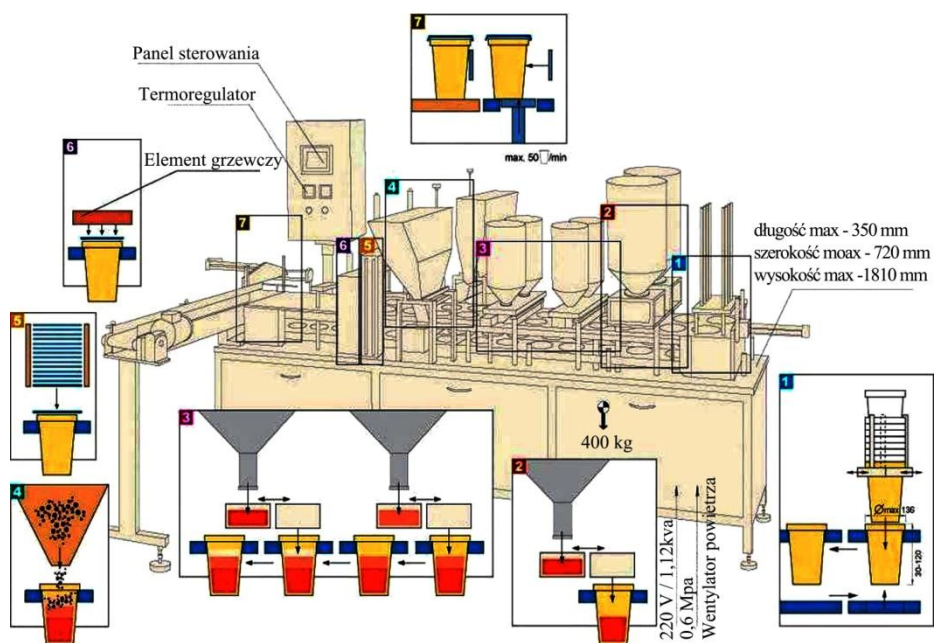


Rys. 1.12. ESP – tokarka IRT 180PMF4: 1 – korpus, 2 – robot przemysłowy, 3 – stół, 4 – wrzeciennik, 5 – szafa sterowania, 6 – pojemniki na wióry, 7 – urządzenie do usuwania wiórów, 8 – napęd obracania narzędzi, 9 – suwak, 10 – sanki wzdłużnego ruchu, 11 – głowice rewolwerowe, 12 – magazyn głowic, 13 – szafa zasilania, 14 – magazyn narzędzi

ESP do pakowania różnych rodzajowo i pod względem masy produktów jest zbudowany na bazie maszyny do pakowania, wyposażonej w mikroprocesorowy system sterowania, zawiera również system magazynów buforowych, urządzenie do zmiany dozowników, system przenośników, system automatycznego zliczania opakowań, układ drukowania kodów i terminu ważności, itp. [1.25].

ESP o układzie pionowym pozwala na pakowanie wyrobów lepkich, takich jak szampony, syropy, kremy, musztarda, majonez, ketchup, pasta pomidorowa, mydła w płynie, etc. W zależności od potrzeb wymiary toreb z materiału polimerowego można zmieniać w zakresie od 35x40 mm do 120x200 mm. Można napełniać równolegle od 2 do 8 toreb, co zapewnia wydajność od 100 do 400 opakowań/min.

ESP o układzie poziomym do pakowania wieloskładnikowych produktów lepkich w kubki polimerowe przedstawiono na rys.1.13. Zabiegi technologiczne są wykonywane w 7 kolejnych pozycjach. W pozycji 1, kubki 2 są doprowadzane do przenośnika maszyny, a w pozycji 2 są napełniane do połowy przez dwa bloki dawkowania. W pozycji 3, dodawany jest drugi składnik, a 4 z dwóch pojemników, ziarna składnika stałego. 5 – magazyn nakrywek, 6 – uszczelnianie, 7 – usuwanie opakowań, 8 – panel sterowania, 9 – termostat, 10 – grzejnik



Rys.1.13. ESP do pakowania pasty: 1 – załadunek, 2 – urządzenie dozujące, 3 – dodatkowe urządzenie dozujące, 4 – urządzenie dozujące składnika stałego, 5 – magazyn nakrywek, 6 – uszczelnianie, 7 – usuwanie opakowań, 8 – panel sterowania, 9 – termostat, 10 – grzejnik

W pozycji 5 jest umieszczony magazyn nakrywek, z którego są zakładane kubki i spawane na pozycji 6. W pozycji 7 wyroby są przekazywane na przenośnik odprowadzający.

1.6.3. Zrobotyzowane kompleksy technologiczne

Zautomatyzowany system zawierający robota przemysłowego (RP), jest nazywany zrobotyzowanym kompleksem technologicznym (ZKT). ZKT zawiera urządzenie procesowe, RP i narzędzia, działa w sposób niezależny i cyklicznie. Urządzenia do gromadzenia, orientacji, wydawania jednostkowych elementów stanowią środki wyposażenia ZKT. ZKT, pracujące w ramach ESP powinien mieć możliwości automatycznego rekonfigurowania.

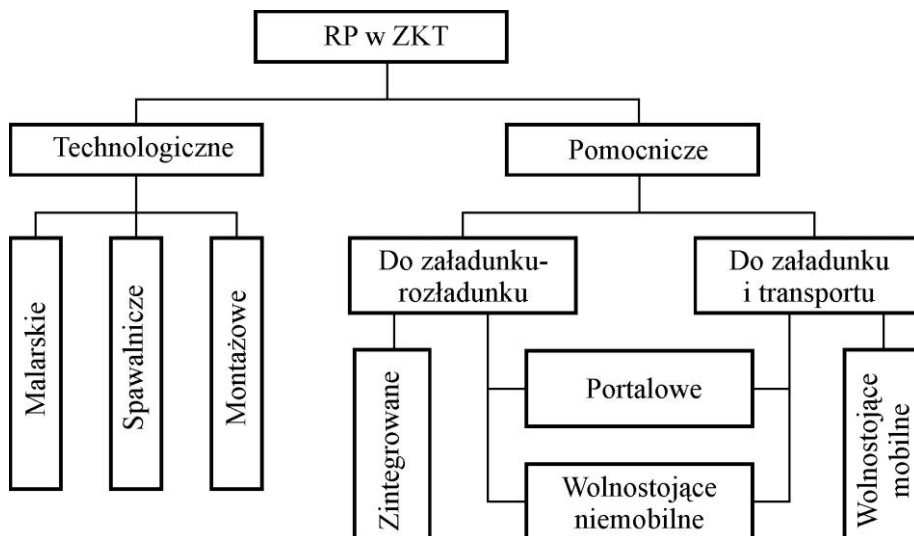
RP, pracujące w ramach ZKT, można podzielić na technologiczne i pomocnicze (rys. 1.14) [1.28].

Technologiczne RP (stanowiące bazę systemu) realizują podstawowe operacje technologiczne, takie jak: malowanie, spawanie, montaż i tak dalej.

RP pomocnicze wykonują operacje załadunku i transportu.

Uwzględniając charakter współpracy z podstawowym urządzeniem technologicznym wyróżnia się roboty przemysłowe: zintegrowane, wolnostojące i portalowe. Budowa ZKT jest realizowana na dwa sposoby:

- ZKT jednopozycyjne, w których RP obsługuje jedną maszynę technologiczną lub stanowisko pracy.
- ZKT wielopozycyjne w których RP obsługuje wiele stanowisk.



Rys. 1.14. Klasyfikacja RP w ZKT

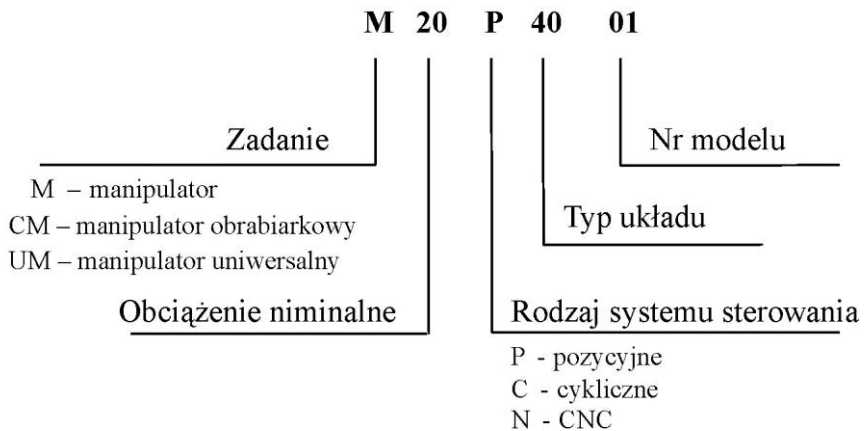
RP składa się z mechanizmu o kilku stopniach swobody oraz oprogramowania do sterowania urządzeniem. Mechanizm ten nazywa się **manipulatorem**. Program sterowania kieruje ruchami organów roboczych. Manipulator realizujący stały program jest nazywany operatorem automatycznym.

Do sterowania RP są głównie stosowane systemy sterowania cykliczne i pozycyjne. System sterowania cyklicznego pozwala na uszeregowanie zleceń w postaci numerycznej informacji o długości przemieszczenia organów roboczych – za pomocą ograniczników. Wszystkie informacje w systemach pozycyjnych są podawane jako kod alfanumeryczny.

Podstawowe parametry RP to:

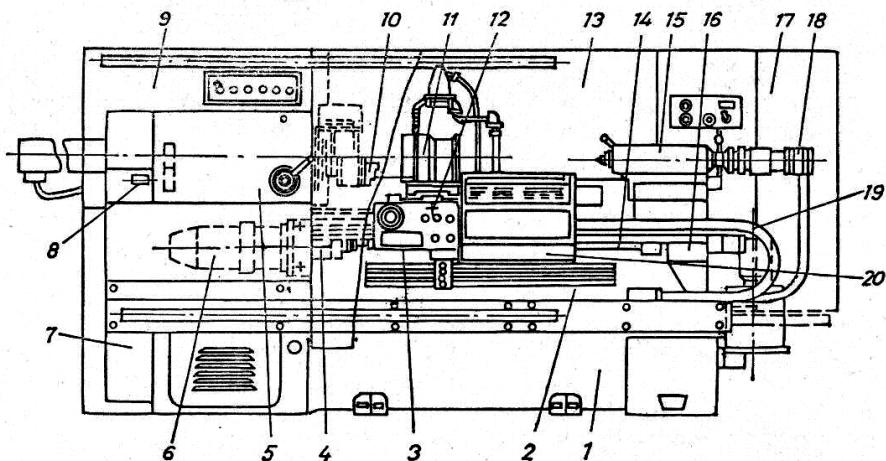
- obciążenie nominalne,
- wielkość obszaru obsługi,
- liczba stopni swobody,
- prędkość przemieszczenia,
- dokładność pozycjonowania.

Niektóre z tych cech są wymienione w nazwie RP (rys. 1.15).



Rys. 1.15. Struktura oznaczenia RP

W przemyśle najczęściej są budowane ZKT na podstawie tokarek CNC, ze względu na stosunkowo krótki cykl obróbki części obrotowosymetrycznych [36] (rys. 1.16).

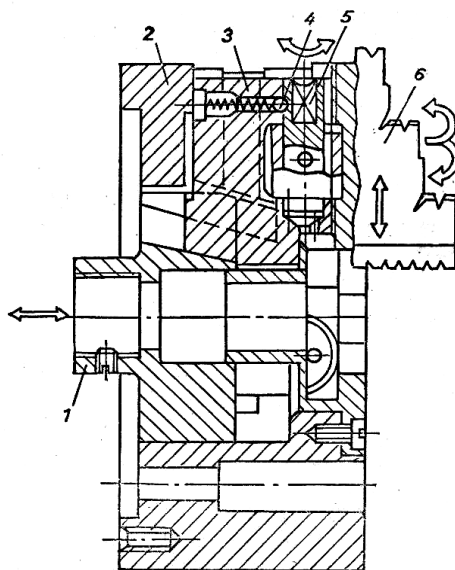


Rys. 1.16. Tokarka CNC 16K20T1: 1 – podstawa, 2 – korpus, 3 – wózek, 4 – łożysko lewej śruby pociągowej, 5 – wrzeciono, 6 – głowica przednia, 7 – napęd ruchu wzdłużnego, 8 – czujnik gwintowania, 9 – szafa sterownicza, 10 – wrzeciono, 11 – głowica rewolwerowa, 12 – pilot zdalnego sterowania, 13 – ogrodzenie stałe, 14 – śruba kulowa, 15 – głowica tylna, 16 – łożysko prawej śruby pociągowej, 17 – elektromechaniczny napęd tylnej głowicy, 19 – wózek, 20 – ogrodzenie ruchome

Dane techniczne tokarki CNC 16K20T1:

- największa średnica części zamocowanej nad korpusem, 500 mm;
- największa średnica produktu zamocowanego nad suportem, 215 mm;
- wysokość noża w uchwycie, 25 mm;
- prędkość obrotowa 22,4 – 2240 min⁻¹;
- zakres posuwu, mm/obr;
 - wzdłużny 0,01 – 2,8;
 - poprzeczny 0,005 – 1,4;
- prędkość przemieszczenia przyspieszonego prędkości, mm/min:
 - wzdłużna 7500,
 - poprzeczna 5000;
- dokładność systemu sterowania, mm:
 - wzdłużne przemieszczenie (oś Z): 0,01,
 - poprzeczne przemieszczenie (oś X): 0,005;
- liczba narzędzi w imaku: 6;
- moc silnika: 11 kW;
- wymiary gabarytowe: 3760 × 1770 × 1700 mm;
- masa maszyny bez CNC: 3800 kg.

Osprzęt obrabiarki CNC powinien wspierać jej autonomiczne funkcjonowanie i zwiększać elastyczność. Na przykład, uchwyt mocujący, powinien umożliwiać szybkie automatyczne mocowanie dowolnej części z danej grupy. Do mocowania wyrobów obrotowosymetrycznych często jest stosowany uchwyt tokarski trójszczękowy (rys. 1.17).

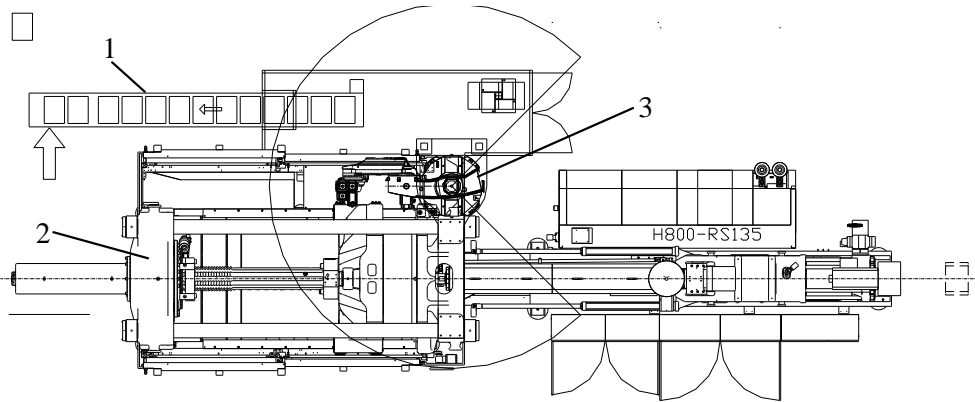


Rys. 1.17. Uchwyt tokarski trójszczękowy: 1 – tuleja prowadząca, 2 – korpus, 3 – szczęka podstawowa, 4 – kulka ustalająca, 5 – śruba, 6 – szczęka

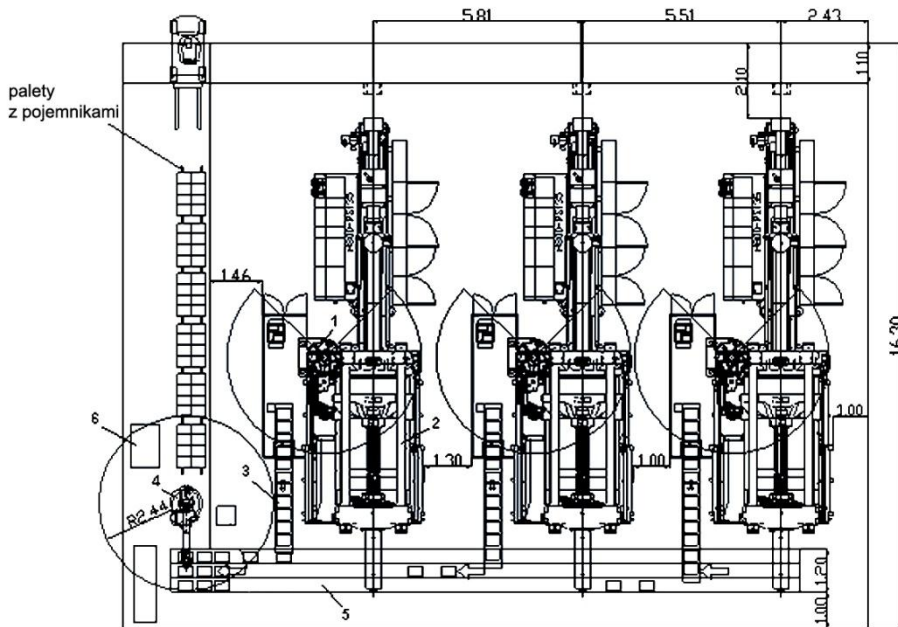
Zamocowanie wyrobu jest uzyskiwane w wyniku ruchu tulei 1 względem korpusu 2. Wymiana lub regulacja szczęk 6 odbywa się przy obrocie o 90° śruby 5 do pozycji, ustalonej przez kulkę 4. Zatem szczękę 6 usuwa się z korpusu lub przemieszcza w żądane położenie.

ZKT w przemyśle opakowaniowym.

Tworzywa sztuczne najczęściej stosowane w przemyśle opakowań – to tworzywa termoplastyczne, które przy podgrzaniu stają się plastyczne ale przy ponownym podgrzaniu i ochłodzeniu ulegają utwardzeniu. Są znane różne metody uzyskiwania pożądanego kształtu wyrobów z tworzywa sztucznego. Najważniejsza to metoda formowania wtryskowego. Wyrób jest usuwany z matrycy przy pomocy drążków. Podczas obsługi ręcznej istnieje niebezpieczeństwo włożenia rąk w przesuwające się połówki matrycy. W związku z tym, do zabiegów formowania wtryskowego są często stosowane roboty, na przykład do: usuwania wlewków (zwłaszcza dużych i ciężkich), mocowania poszczególnych elementów matrycy oraz układania wlewków na palety. ZKT do odlewania skrzynek przedstawiono na rys.1.18.



Rys. 1.18. ZKT do produkcji opakowań polimerowych: 1 – transporter, 2 – maszyna do formowania wtryskowego, 3 – robot



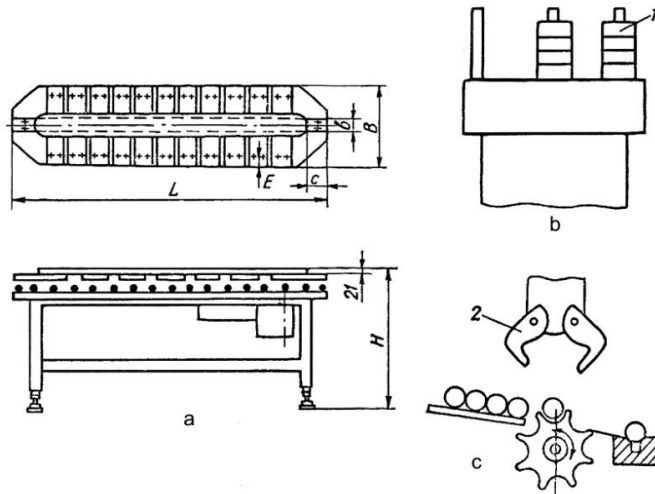
Rys. 1.19. ZKT do formowania pudełek polimerowych: 1 – robot 2 – wtryskarki, 3 – przenośnik odprowadzający, 4 – robot, 5 – przenośnik, 6 – stanowisko kontroli

RP dostatecznie szybko i dokładnie wykonują czynności związane przemieszczaniem ciężkich przedmiotów w procesie wytwarzania, a także doskonale nadają się do pakowania przedmiotów do pojemników lub ich rozmieszczania na paletach. Palety są szczególnie użyteczne nie tylko dlatego, że o wiele łatwiej

je pobierać i transportować niż poszczególne wyroby, ale także dlatego, że umożliwiają utrzymanie stałego względnego położenia części. RP jest szczególnie przydatny, gdy pozycja wyrobów często się zmienia, podczas ich grupowania. Za pomocą złożonych ZKT mogą być montowane poprzednio nie pogrupowane obiekty, przy tym robot określa najlepszą strukturę zestawu części. W wielu przypadkach RP również montuje podobne obiekty lub umieszcza je w uprzednio częściowo wypełnionej palecie (R. McIntosh próbował zastosować RP do wypełnienia pudełka różnymi rodzajami czekolady).

Osprzęt wspomagający ZKT. Gama produktów, które można zmontować przy zastosowaniu robotów, jest bardzo duża. Mogą to być proste pudełka, torby do pakowania, elementy metalowe, arkusze lub obudowa szkła, cegły, a nawet części o skomplikowanym kształcie (np. kineskopy). Przy ułożeniu wyrobów w stosy, roboty można użyć do wykonywania czynności odwrotnej. Depaletyzacja nie wymaga sprzężenia zwrotnego, jeżeli jest wstępnie określona sekwencja jest wykonania.

Do urządzeń magazynowych pierwszego typu należą stoły taktowe i ślizgi, platformy wibracyjne oraz grawitacyjne (rys. 1.20).



Rys. 1.20. Urządzenia dostarczające obrabiane przedmioty 1 do punktu 2 chwytania przez robot przemysłowy: 1 – stół taktowy, b – stół obrotowy, c – zasobnik

Do urządzeń magazynowych drugiego typu należą płyty i kasety, na których są umieszczane wyroby. Wykorzystanie urządzeń magazynowych drugiego typu nie wymaga przemieszczania wyrobów od urządzeń magazynowych do obrabiarek, ponieważ płyty i kasety są przechowywane w magazynie.

Osprzęt ZKT składa się głównie z urządzeń magazynowych, które pozwalają na utworzenie zasobu niezbędnego do autonomicznego działania obrabiarki w ciągu kilku godzin. Do gromadzenia elementów są wykorzystywane urządzenia dwóch typów:

- z przemieszczaniem wyrobów do przestrzeni roboczej RP,
- bez przemieszczania, gdy obrabiane przedmioty są umieszczone w magazynie ze skokiem, którego wartość jest wprowadzana do programu sterującego RP.

Stoły taktowe, np. ST220, ST220.1, są stosowane do gromadzenia określonej liczby półfabrykatów i indywidualnego ich transportowania do strefy roboczej RP (rys. 1.20). Każdy z elementów jest bezpośrednio zamocowany na stole, jeśli jego kształt to umożliwi lub jest umieszczany na palecie. Po zakończeniu obróbki wyroby z powrotem są umieszczane na stole lub w pojemniku wyrobów gotowych.

1.7. Podsystem transportowo-manipulacyjny ESP

Automatyzacja produkcji nie może się powieść bez starannego zaplanowania przepływu materiałów, manipulacji wyrobami i przetwarzania informacji. Już w fazie projektowania ESP lub budowy linii technologicznych są analizowane problemy związane z magazynowaniem, transportowaniem, czynnościami manipulacyjnymi, wytwarzaniem i przetwarzaniem informacji, niezależnie od zastosowania zautomatyzowanych modułów przemieszczania materiałów oraz komputerowych systemów informacyjnych [1.28]. Podczas automatyzacji i montażu produkcji nie udaje się jednak spełnić w pełni oczekiwań związanych z projektowaniem i wdrażaniem ESP, na przykład takich jak:

- lepsze wykorzystanie obrabiarek,
- skrócenie czasu obsługi,
- skrócenie czasu magazynowania, transportu i czasu oczekiwania na obróbkę,
- większa elastyczność w zakresie zwiększenia gamy produktów i zmniejszenia ilości produkowanych wyrobów.

ESP w przemyśle opakowaniowym jest złożonym systemem realizacji zautomatyzowanego procesu produkcyjnego, którego wszystkie elementy składowe są koordynowane przez system sterowania. System umożliwiający funkcjonowanie ESP – to zestaw połączonych zautomatyzowanych podsystemów, realizujących technologiczne przygotowanie produkcji, pakowanie towarów, w tym sterowanie środkami automatyki, automatyczne przemieszczanie obiektów produkcji i urządzeń produkcyjnych.

Ogólnie, w skład ESP wchodzi:

- zautomatyzowany system transportu i składowania (ZSTS),
- zautomatyzowany system wsparcia narzędziowego (ZSWN),
- zautomatyzowany system kontroli (ZSK),
- zautomatyzowany system usuwania odpadów (ZSUO),
- zautomatyzowany system przygotowania technologicznego produkcji (ZSTPP),
- zautomatyzowany system badań naukowych (ZSBN) i inne.

Wynika to z tego, że jednolity system często jest zestawiany po zaprojektowaniu podsystemów niezbędnych do realizacji elastycznych technologii produkcyjnych. Inwestując w ESP i planując w przyszłości automatyzację i usprawnienie procesu (manipulowanie wyrobami, przepływ materiałów i informacji), należy brać (podczas wyboru narzędzi) pod uwagę wzajemne powiązania podsystemów manipulacji, przepływu materiałów i informacji. Umożliwia to obniżenie późniejszych kosztów koordynacji i rozbudowy systemu.

Istotne jest zwrócenie uwagi na dwa czynniki [1.18, 1.19]:

- określenie struktury wspólnych rozwiązań, ponieważ racjonalizacja zautomatyzowanych systemów produkcyjnych wymaga znacznych inwestycji,
- zautomatyzowany system produkcyjny często nie jest tworzony od zera, a więc należy zapewnić powiązanie pracy urządzeń zautomatyzowanych z tradycyjnymi urządzeniami produkcyjnymi.

Do automatyzacji przepływu materiałów i procesów manipulacyjnych w module produkcyjnym są niezbędne następujące elementy: elastyczne pojazdy i urządzenia orientujące części, narzędzia i akcesoria; umiejscowienie w pobliżu półfabrykatów i palet, zastosowanie jako buforu zautomatyzowanych „mini-magazynów”, a także zautomatyzowane systemy transportu i manipulacji, załadunku i rozładunku pojemników, urządzenia magazynowe i obrabiarki.

W celu zapewnienia właściwej akumulacji, kontroli i wdrażania usprawnień organizacyjnych w zintegrowanych systemach produkcyjnych należy stosować systemy hierarchiczne o strukturze modułowej.

Manipulacja, podawanie i składowanie. Uszeregowanie części, narzędzi oraz przyrządów jest niezbędnym warunkiem funkcjonowania zautomatyzowanych systemów przemysłowych, w szczególności umożliwia zmniejszenie liczby pracowników.

W systemie nie można analizować części i środków transportowych tylko w odniesieniu do wyrobów i narzędzi bez uwzględnienia pozostałych przepływów materiałowych. Elastyczna produkcja wymaga stosowania systemu modułowego, umożliwiającego realizację wielu opcji. W tych warunkach, główne elementy powinny spełniać następujące podstawowe wymagania:

- a) urządzenia transportowe pomocnicze:
- podstawowe nośniki powinny mieć standardowe wymiary, zgodne ze standardowymi wymiarami palet i zbiorników, co w znacznym stopniu umożliwia ograniczenie zakłóceń w pracy przenośnika,
 - elastyczność pojazdów pomocniczych może być zapewniona za pomocą układów wtykowych dostosowanych do konkretnych wyrobów,
 - automatyczne urządzenia transportowe powinny charakteryzować się wysoką dokładnością przemieszczania, co umożliwia prawidłowe pozycjonowanie pomocniczych układów manipulacji,
- b) magazyny przedmiotów powinny:
- charakteryzować się wysoką dokładność pozycjonowania, co umożliwia właściwe rozmieszczenie transportowych urządzeń pomocniczych,
 - zapewnić zarówno składowanie krótkoterminowe (bufory), jak i długoterminowe (tworzenie zapasu na zmianę),
 - umożliwiać zmianę położenia płaszczyzn magazynowania,
 - zapewnić możliwość sprzęgania z automatycznym transportem przesyłowym i różnymi układami manipulującymi.

Wraz z stacjonarnymi RP do manipulowania częściami i narzędziami w ESP są również roboty bramowe powierzchniowe lub liniowe.

Główną zaletą robotów bramowych jest to, że nie zajmują dodatkowej powierzchni i w konsekwencji, nie ograniczają one miejsca pracy obrabiarki oraz mają duży zasięg działania.

Uzyskanie wysokiej elastyczności asortymentowej wymaga zastosowania zautomatyzowanych, kosztownych urządzeń, a to wymaga, między innymi, zastosowania odpowiednich obrabiarek i układów manipulacji. Aby manipulowanie różnorodnymi wyrobami było możliwe należy zastosować odpowiednie uchwyty i systemy ich automatycznej wymiany, co umożliwia wyeliminowanie konieczności ich ręcznego rekonfigurowania.

Zapewnienie niezawodnego działania systemu wymaga, aby układy manipulowania miały wysoką dokładność pozycjonowania i powtarzalność.

1.7.1. Koncepcja procesów transportu i manipulacji w ESP [1.25, 1.31]

Zautomatyzowane wytwarzanie jest związane z dużym przepływem półwyrobów, półproduktów i produktów o zróżnicowanym stopniu zaawansowania realizacji procesu technologicznego, których przemieszczanie w obszarze roboczym ESP musi być odpowiednio koordynowane. W trakcie projektowania funkcjonalnego ESP należy procesy technologiczne analizować łącznie z procesami pomocniczymi, to znaczy technologia, przemieszczanie, przetwarzanie i sterowanie, są integralną częścią procesu produkcyjnego. Potrzeba koordynacji

w czasie operacji technologicznych z operacjami transportowymi wymaga zintegrowanego projektowania procesu technologicznego i transportu, czyli projektowania systemu technologicznego-transportowo produkcji [1.38].

Procesy transportowe i manipulacji (procesy transportu) zapewniają technologiczne połączenie transportu produktu lub jego elementów, na różnych etapach realizacji procesu, między poszczególnymi maszynami lub pozycjami poszczególnych maszyn, zapewniając ciągły przepływ materiałów.

Operacja transportowo-manipulacyjna – jest częścią procesu transportowego, obejmującą działania człowieka i (lub) transport środków na stanowisko pracy, której nie towarzyszą zmiany właściwości produktu lecz jest niezbędna w celu zapewnienia spójnego przepływu materiałów. Typowe operacje transportowo-manipulacyjne to: przemieszczanie, czasowe składowanie, orientowanie wyrobów oraz operacje przegrupowania przepływów materiałowych.

Przepływ materiałowy w systemie technologicznym (pojedynczej maszynie lub linii zautomatyzowanej) zapewnia ciągłość procesu technologicznego, umożliwiając jego realizację. Proces transportu to przemieszczanie do obszaru roboczego systemu technologicznego m przychodzących strumieni materiałowych produktów i ich elementów oraz usuwanie z niego n strumieni produktów – przemieszczanie międzypozycyjne. Ten rozgałęziony przepływ wpływa na wydajność systemów technologicznych. Dlatego też, podczas badania i projektowania zautomatyzowanego przetwarzania obiektem powinny być procesy wytwarzania i transportu produktu. W tym przypadku, łącznie z operacjami i zabiegami technologicznymi są wykonywane operacje i zabiegi transportowe.

Zabieg transportowy – część operacji, w trakcie której nie następuje zmiana właściwości części, jest niezbędny w celu zapewnienia przepływu materiałów przez element roboczy układu technologicznego.

Prawdopodobnie najczęściej występującą w liniach zautomatyzowanych jest operacja przemieszczania elementów. W zautomatyzowanej linii produkcyjnej realizowane są operacje robocze, w trakcie których następuje zmiana właściwości, stanu i kształtu obiektu. Jedno urządzenie wykonuje jedną operację, po czym wyrób jest przemieszczany na następną maszynę. Taki układ występuje we wszystkich zautomatyzowanych liniach, czyli całemu procesowi towarzyszy wiele operacji transportowych, umożliwiających przemieszczanie obiektu pomiędzy stanowiskami zautomatyzowanej linii. Ruch ten jest wykonywany przez różne urządzenia transportowe, takie jak: przenośniki, transportery, windy i inne.

Transportowanie elementu z jednego urządzenia na drugie nie zawsze jest wykonywane przez jedno urządzenie transportowe. Linie mogą być tak skonfigurowane, że odległości pomiędzy sąsiednimi maszynami są takie, iż długość przenośnika jest niewystarczająca, aby przenieść element. W tym przypadku, ruch odbywa się na różnych pojazdach, rozmieszczonych jeden za drugim. Na połączeniu tras dwóch pojazdów jest wykonywana **operacja przeladunku**, podczas której, wyroby z jednych środków transportu są przenieszone na inne.

Operacja **załadunku** uruchamia linię, gdy linia jest załadowana automatycznie elementami do wytwarzania. Przeciwną do niej jest operacja **rozładunku** – wyodrębnienia elementów z automatycznej linii produkcyjnej.

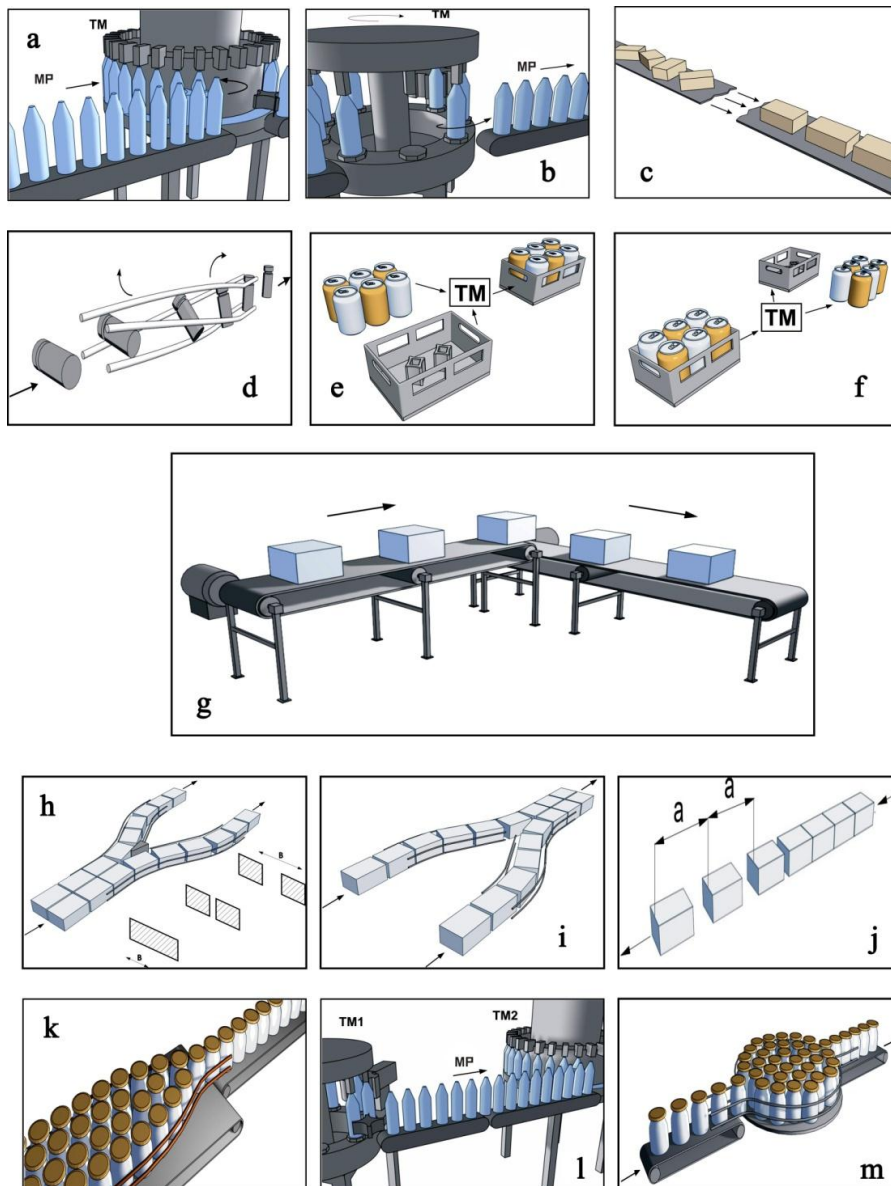
W linii mogą być automaty o różnej wydajności. Jeżeli wykonanie elementu, jest na przykład 2-krotnie dłuższe niż kolejnego, to w celu zapewnienia równomierności pracy linii umieszcza się 2 urządzenia o mniejszej wydajności. W tym przypadku konieczne jest **rozdzielanie** lub **łączenie** przepływającego strumienia materiałów. Konieczność rozdzielania lub łączenia strumieni może również wynikać z konstrukcji maszyny, układu linii, a także innych czynników. Ta transformacja przepływu jest realizowana przy zastosowaniu operacji transportowych rozdzielania i łączenia. W procesie operacji rozdzielania z jednego strumienia powstają dwa lub więcej. Operacja odwrotna to łączenie, wielu strumieni w jeden.

Maszyny, wchodzące w zautomatyzowane linie produkcyjne charakteryzują się określonym taktom, wykonując operacje obróbki tych samych wyrobów przez określony czas. Aby maszyny pracowały sprawnie jest konieczna synchroniczna dostawa materiałów na wejściu – powinny być one załadowywane na urządzenie w sposób umownie ciągły ze stałym skokiem. Przepływ, w których wyroby są umieszczone w pewnej odległości od siebie jest nazywany dyskretnym deterministycznym – **operacją dyskretyzacji**.

Zwykle w procesie zautomatyzowanym należy określić pozycję i kierunek wytwarzanych elementów. W linii są więc umieszczane urządzenia, które umożliwiają **orientację elementu**. Może to być, na przykład, urządzenie orientacji półfabrykatów, pojedynczych części, itd. Orientacja części względem obrabiarek jest warunkiem automatyzacji produkcji, ponieważ urządzenia są zaprojektowane tak, że zabiegi technologiczne mogą być wykonywane tylko wtedy, gdy część znajduje się w ściśle określonym położeniu. Podczas orientowania, części zajmują położenie niezbędne dla obróbki na maszynie technologicznej.

Podczas obróbki może zajść konieczność zmiany pozycji obiektu już zorientowanego. Zmiana kierunku przepływu wyrobów jest określana jako **przeorientowanie**.

Wiele części jest zazwyczaj podawanych na linię w pojemnikach. Dlatego większość zautomatyzowanych linii posiada urządzenia do **rozformowania pojemnika transportowego**. Odwrotną operacją **transportową** jest formowanie palety transportowej, na której są umieszczane kontenery (rys. 1.21).



Rys. 1.21. Operacje transportu: a – załadunek, b – rozładunek, c – zorientowanie w przepływie, d – przeorientowanie w przepływie, e – formowanie jednostki transportowej, f – rozformowanie jednostki transportowej, g – przeladunek, h, i – rozdzielanie i łączenie strumieni, j – dyskretyzacja, k – zmiana przekroju, l – przemieszczenie, m – gromadzenie

W celu zapewnienia płynnej pracy linii stosowane są magazyny buforowe. Ich zadaniem jest utworzenie zapasu elementów umożliwiającego stabilną pracę linii, w przypadku awarii jednego z urządzeń. Magazyny buforowe znajdują się w tych miejscach linii, gdzie występuje największe prawdopodobieństwo awarii maszyn.

Analiza operacji transportowych w zautomatyzowanych liniach do pakowania umożliwia specyfikację uogólnionego procesu transportowego, który obejmuje zestaw operacji transportowych pokazany w tabeli 1.5.

Tab. 1.5. Rodzaje operacji transportu w systemach technologicznych

Klasa operacji	Kod operacji	Operacja	Definicja	Interakcja elementów
1	11	Załadowanie	dostarczanie elementu z przepływającego strumienia elementów na maszynę technologiczną	W-MT
	12	Rozładunek	pobranie wyrobu z maszyny technologicznej i dostarczanie go do przepływającego strumienia elementów	
	13	Zorientowanie wewnątrz maszyny	doprowadzenie wyrobu do położenia ukierunkowanego względem organów roboczych maszyny	
	14	Przeorientowanie wewnątrz maszyny	repozycjonowanie wyrobów względem organów roboczych urządzenia	
2	21	Zorientowanie w przepływie	doprowadzenie wyrobu do położenia ukierunkowanego względem urządzeń transportujących	W-PM
	22	Przeorientowanie w przepływie	repozycjonowanie wyrobów względem urządzeń transportujących	
	23	Rozformowanie jednostki transportowej	usuwanie opakowania transportowego, wyjmowanie wyrobów z pojemników	
	24	Formowanie jednostki transportowej	Zestawienie elementów i opakowania transportowego	

	25	Przeładowanie	przeniesienie ładunków z jednego urządzenia transportowego na drugie	
	26	Rozdzielanie	formowanie 2 lub więcej strumieni wyrobów ze strumienia pojedynczego	
	27	Łączenie	tworzenie mniejszej liczby strumieni z dwóch lub więcej	
	28	Dyskretyzacja	określenie odstępu czasowego pomiędzy wyrobami	
	29	Zmiana przekroju	zmiana liczby elementów w przekroju przepływu	
3	31	Przemieszczenie	zmiana lokalizacji wyrobów	PM-MT
	32	Gromadzenie	tworzenie zapasu wyrobów w pobliżu maszyny	

W zależności od rodzaju i wydajności linii produkcyjnej pojedyncze procesy transportowe obejmują określony zestaw operacji transportowych, a więc każdy podsystem transportu charakteryzuje się indywidualnym układem i stopniem złożoności.

Charakter interakcji elementów zautomatyzowanego wytwarzania jest podstawą do klasyfikacji operacji transportowych. Operacje transportowe można podzielić na następujące grupy:

1. Operacje interakcji wyrobu z maszyną technologiczną (W-MT),
2. Operacje interakcji wyrobu z przepływem materiałów (W-PM),
3. Operacje interakcji przepływu materiałów z maszyną technologiczną (PM-MT).

Podstawowe operacje transportowe z tabeli 1.5 są przedstawione poniżej.

11. Załadunek – dostarczanie elementu z przepływającego strumienia elementów na maszynę technologiczną.
12. Rozładunek – pobranie wyrobu z maszyny technologicznej i dostarczenie go do przepływającego strumienia elementów.
21. Zorientowanie – działanie w celu doprowadzenia elementu do położenia niezbędnego do przeprowadzenia procesu.
22. Przeorientowanie – repozycjonowanie elementu względem organów roboczych urządzenia.
23. Rozformowanie jednostki transportowej – usuwanie opakowania transportowego, wyjmowanie elementów z pojemników.
24. Formowanie jednostki transportowej – zestawienie elementów i opakowania transportowego.

25. Przeładowanie – przeniesienie ładunków z jednego urządzenia transportowego na drugie. Operacja jest wykonywana przez różne urządzenia do przeładunku. Urządzenia te służą do załadunku i rozładunku urządzeń transportowych i bezpośredniego przeniesienia z jednego urządzenia na drugie, tymczasowego składowania w celu realizacji operacji technologicznych. Podczas operacji przeładunkowych odbywa się kontrola, zliczanie, identyfikacja oraz sortowanie wyrobów.
26. Rozdzielanie – operacja formowania 2 lub więcej strumieni wyrobów ze strumienia pojedynczego.
27. Łączenie strumieni – tworzenie mniejszej liczby strumieni z dwóch lub więcej.
28. Dyskretyzacja przepływu – określenie odstępu czasowego pomiędzy wyrobami.
29. Zmiana przekroju przepływu – operacja zmiany liczby elementów w przekroju przepływu.
31. Przemieszczenie wyrobów – operacja przenoszenia wyrobów z jednej maszyny na inną. Przenoszenie jest zestawem zabiegów przemieszczania wyrobów w przestrzeni bez zmiany ich kształtu geometrycznego, wymiarów i właściwości fizyko-chemicznych. Operacja ta jest częścią procesu transportowego w zautomatyzowanej linii i jest realizowana przy pomocy jednego lub kilku współdziałających mechanizmów.
32. Gromadzenie – tworzenie zapasu wyrobów w pobliżu maszyny.

1.7.2. Zautomatyzowany system transportowy i składowania

Rozmieszczenie części bezpośrednio obok obrabiarek ze swobodnym do nich dostępem ma kluczowe znaczenie dla efektywnego działania automatycznych i tradycyjnych systemów produkcyjnych. Takie warunki można uzyskać dzięki utworzeniu buforów technologicznych.

Zintegrowane, zautomatyzowane magazyny o małej lub średniej wielkości pełnią funkcję buforów technologicznych. Zawierają one następujące elementy:

- stojaki jedno- lub dwurzędowe,
- małe urządzenie do obsługi półek (urządzenie do załadunku),
- komputer do automatycznego sterowania urządzeniem do załadunku, miejscem na półkach i zleceniami przechowywanymi w buforze wyrobów pośrednich.

Najważniejszym elementem ESP, który zapewnia jej skuteczne działanie jest zautomatyzowany system transportu i składowania (ZSTS). Zautomatyzowany system transportowy i składowania – system połączonych ze sobą urządzeń transportowych i do składowania, magazynowania, czasowego gromadzenia, rozładunku, dostawy wyrobów, narzędzi i urządzeń technologicznych [1.28].

ZSTS służy do gromadzenia i przechowywania wyrobów, akcesoriów i części, na różnych etapach ich wytwarzania i transportowania między różnymi urządzeniami technologicznym. ZSTS często jest nazywany systemem transportu i składowania (STS).

W przeciwieństwie do systemów transportowych stosowanych w produkcji masowej STS ESP charakteryzują się o wiele mniejszą intensywnością przepływów, ze względu na dużą autonomię pracy obrabiarek zautomatyzowanych, wchodzących w skład ESP. Przykładowo, w ESP na bazie obrabiarki CNC korpus o średniej złożoności jest wykonywany w ciągu 3,5–2,0 godzin, a ZKT tokarski obrabia partię przez 2,0–2,5 godziny. System transportowy ESP zawierającego od 5 do 10 obrabiarek, w ciągu godziny przemieszcza więc od 2 do 4 palet lub pojedynczych korpusów. W tych warunkach główną cechą STS nie jest jego szybkość lecz prostota rozwiązania technicznego.

Ogólnie ZSTS składa się z dwóch podsystemów: składowania i transportu. Podsystem składowania oprócz zautomatyzowanego magazynu zawiera:

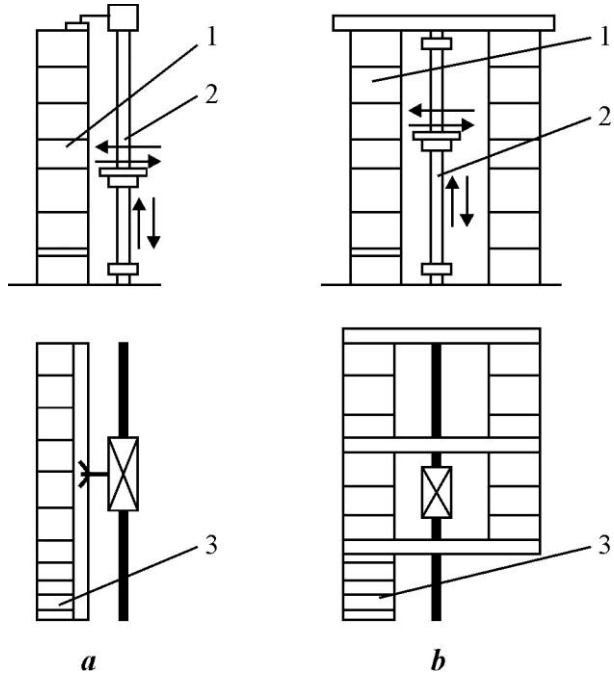
- opakowania (palety, taśmy, pudełka),
- urządzenia do pobierania i wydawania opakowań,
- urządzenia do kontroli wymiarów i masy załadowanego kontenera,
- system sterowania.

Zautomatyzowany magazyn może składać się z regału 1 (rys. 1.22), który jest obsługiwany przez robota 2. Ładunek może być ustawiony po obu stronach stojaka. Jeden robot może obsługiwać dwa regały, poruszając się między nimi (rys. 1.22 b). W tym przypadku zwiększa się pojemność magazynu. Półki wykonane są z profili stalowych. Każdy regał składa się z ramy i półek i jest przymocowany do podłogi śrubami fundamentowymi.

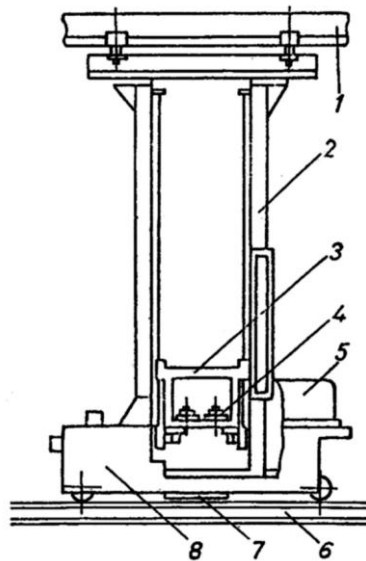
Komórki regałów mają znormalizowane wymiary: 400 x 600, 600 x 800, 800 x 1200 mm.

Roboty magazynowe wykonują załadunek, rozładunek i przemieszczanie pojemników z obrabianymi częściami oraz palet z zamocowanymi na nich półwyrobami. Przemieszczanie może być wykonywane wzdłuż trzech osi współrzędnych: wzdłuż prowadnicy poziomej, w pionie wzdłuż ramy, poziomo w kierunku prostopadłym do płaszczyzny stelaża.

Robot (rys. 1.23), o maksymalnym udźwigu 500 kg składa się z ramy 2, wózka 8 poruszającego się poziomo po szynie 6. Wózek 3 z napędem 5 i uchwytem teleskopowym 4 porusza się pionowo po ramie 2. Hamulec 7 zapewnia precyzyjne zatrzymanie robota. Prędkość poziomego przemieszczenia wynosi od 2 do 65 m/min, a w pionie od 2 do 18 m/min, natomiast uchwyty teleskopowego – 10 m/min.



**Rys. 1.22. Zautomatyzowane magazyny: a – jednorzędowe, b – dwurzędowe:
1 – stojak, 2 – robot, 3 – urządzenie do przeladunku**



Rys. 1.23. Dźwignica PU-500: 1 – belka górna, 2 – rama, 3 – wózek, 4 – uchwyt teleskopowy, 5 – napęd, 6 – szyna, 7 – hamulce, 8 – wózek

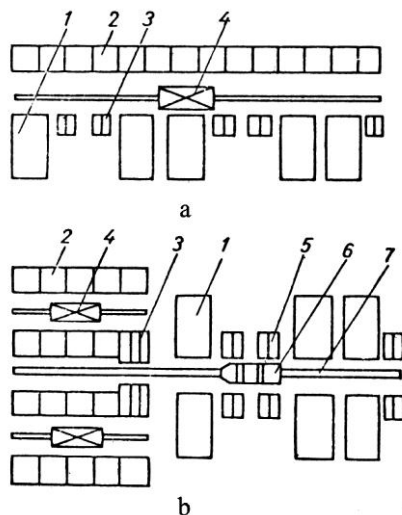
Podsystem transportu ZSTS budowany w oparciu o naziemne lub nadziemne roboty lub wózki. Pojazdy naziemne mogą być szynowymi lub jezdniowymi (robokary). W zależności od usytuowania drogi, po której przemieszczają się pojazdy, względem obszarów roboczych urządzeń technologicznych rozróżnia się ZSTS przelotowy i nieprzelotowy. Podsystem transportu składa się z urządzeń transportowych i do składowania, które służą do dostawy materiałów i czasowego ich składowania, pakowania oraz dostarczania pomocniczych i gotowych opakowań do obrabiarek.

Oddzielne wózki transportowe zapewniają wysoki stopień elastyczności w wyniku płynnego połączenia przepływów materiałowych kilku rozproszonych pojedynczych obrabiarek lub/i systemów produkcyjnych. W porównaniu z nieruchomymi przenośnikami mają tę zaletę, że jeden lub kilka wózków może się przemieszczać automatycznie i niezależnie do wstępnie określonego położenia końcowego.

Wózki sterowane od przewodów prowadzących szczególnie nadają się do zastosowania w ESP. Mogą one być budowane z elastycznych modułów, co ułatwia ich dostosowanie do realizowanych zadań. Taki wózek może być wyposażony w przenośnik łańcuchowy lub taśmowy.

W zależności od stosowanych podsystemów składowania i transportu można wyodrębnić dwa warianty ZSTS (rys. 1.24):

- zintegrowane podsystemy transportu i składowania, w których pojazdem jest robot (stosowane w ESP z małą ilością sprzętu technologicznego),
- z osobnymi podsystemami transportu i składowania.



Rys. 1.24. ZSTS połączony (a) i rozdzielony (b): 1 – obrabiarka, 2 – regał, 3 – urządzenie do przeladowania, 4 – robot, 5 – napęd, 6 – wózek szynowy, 7 – szyna

System magazynowania jest przeznaczony do przechowywania rezerwy materiałów opakowaniowych, środków opakowaniowych pomocniczych, surowców lub półproduktów oraz składowania i przechowywania gotowych zapakowanych wyrobów.

1.7.3. Zautomatyzowany system narzędziowy (ZSN)

Stan narzędzi znacząco wpływa na niezawodność i wydajność ESP, decydując o jakości obróbki. System narzędziowy umożliwia przygotowanie do pracy oraz przechowywanie narzędzi i urządzeń, a także ich kontrolę, określenie kosztów narzędziowych i ich dostawę do urządzeń technologicznych.

ZSN – to system powiązanych ze sobą elementów zawierających stanowiska przygotowania narzędzi oraz umożliwiających ich magazynowanie i przechowywanie, urządzenia transportowe, urządzenia do automatycznego ustawiania, wymiany i kontroli narzędzi. Ogólnie ZSN zawiera:

- narzędzia do cięcia i kontroli, niezbędne do obróbki, montażu i pakowania różnych grup wyrobów,
- stanowiska nastawiania narzędzi poza obrabiarką i ich dostarczania do magazynów narzędziowych oraz zautomatyzowane magazyny narzędziowe,
- zautomatyzowany system diagnostyki narzędzi (zużytych, uszkodzonych), uwzględniający ich zużycie w tym katastroficzne (dublery),
- urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi.

1.7.4. Zautomatyzowane systemy kontroli (ZSK)

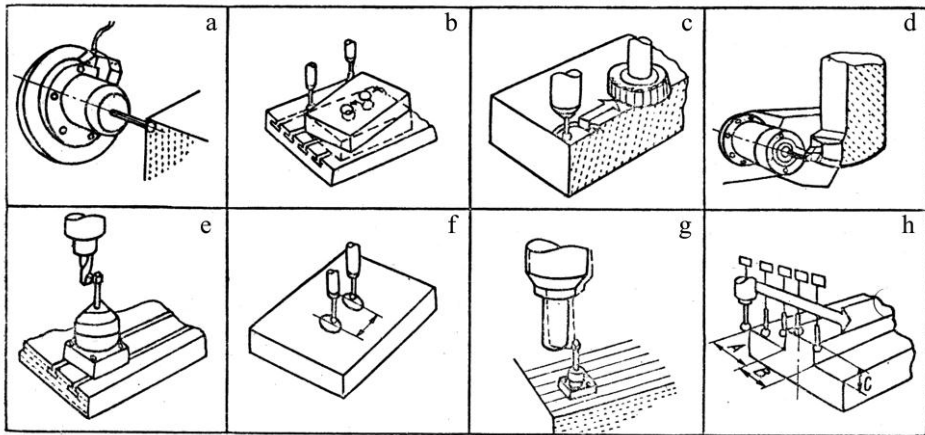
Zautomatyzowane systemy kontroli (ZSK) obejmują kontrolę wejściową, wyjściową i funkcjonalną [1.28]. Podczas kontroli wejściowej określone są wymiary gabarytowe półwyrobu (rys. 1.25 a), jego położenie w przestrzeni roboczej maszyny (rys. 1.25 b), naddatek na obróbkę (rys. 1.25 c).

Kontrola funkcjonalna przewiduje sprawdzanie stanu narzędzi (rys. 1.25 d,e), pośrednią kontrolę części (rys. 1.25 f), monitorowanie stanu mechanizmów (automatyczny system diagnostyki obrabiarki – rys. 1.25 g).

W trakcie kontroli wyjściowej określa się zgodność wymiarów i kształtu wyrobu (rys. 1.25 h). Można to wykonać bezpośrednio na obrabiarce lub przy pomocy specjalnych urządzeń kontrolno-pomiarowych.

System kontroli zapewnia: kontrolę środków technicznych ESP i opakowań; ocenę stanu technicznego urządzeń wchodzących w skład systemu technologicznego, a także podsystemów: transportowego, magazynowania oraz narzędziowego.

Komputerowy podsystem kontroli umożliwia uzyskanie celów operacyjnych systemów obsługi zapis osiągnięcia planowanych celów; sterowanie wyposażeniem technologicznym i pomocniczym.



Rys. 1.25. Funkcje ZSK w ESP

1.7.5. Zautomatyzowany system usuwania odpadów (ZSUO)

ZSUO składa się z przenośnika wiórów zamontowanego na korpusie obrabiarki, urządzenia do kruszenia i usuwania wiórów z obszaru roboczego i czyszczenia elementów urządzeń [1.29].

Drożność usuwania wiórów i ich transport są zapewniane przez ich kruszenie znanymi sposobami: przerywany posuw, rowki, skrawanie nożami z łamaczami wiórów, wibracje podczas skrawania itd. Przy obróbce części na obrabiarkach CNC powszechnie stosowaną metodą rozdrabniania wiórów, z uwagi na jego uniwersalność, jest przerywanie posuwu roboczego.

Nowoczesne obrabiarki CNC, zapewniają przerywanie posuwu narzędzi zgodnie ze specjalnym poleceniem, wprowadzonym do programu sterującego. Wadą tego sposobu jest niemożność jego stosowania podczas obróbki wykańczającej, ponieważ przy zagłębieniu naroża po każdym zatrzymaniu, działanie siły promieniowej przestaje być skuteczne. Opracowano metodę obróbki zgrubnej i wykańczającej, w której powierzchnia jest obrabiana w dwóch przejściach. W pierwszym zgrubnym przejściu, która jest wykonywane z przerywaniem posuwu, nóż tworzy na powierzchni obrobionej rowki, które są stosowane do oddzielania wiórów w trakcie drugiego wykańczającego przejścia (świadectwo autorskie ZSRR 1556817).

Elementy urządzenia zaciskowego są oczyszczane z drobnych wiórów sprężonym powietrzem lub cieczą chłodząco-smarującą.

Jeżeli części są obrabiane na paletach, to ESP zawierają m.in. urządzenia do mycia palet przed ponownym mocowaniem części.

1.8. Wydajność ESP

1.8.1. Organizacja wdrożenia i użytkowania ESP

Skuteczność wykorzystania ESP w porównaniu z urządzeniami pracującymi autonomicznie jest uzyskiwana przede wszystkim w wyniku:

- zwiększenia elastyczności wskutek możliwości szybkiego przebrojenia na obróbkę innej części dzięki integracji wyposażenia, narzędzi, urządzeń i przyrządów pomiarowych,
- obniżenia kosztów (oszczędność środków trwałych), zakupu urządzeń w związku ze zmniejszeniem ich liczby, ponieważ od 2 do 3 razy zwiększa się ich wydajność,
- obniżenia kosztów powierzchni produkcyjnej (zmniejszenie liczby urządzeń),
- efektywnego wykorzystania personelu produkcyjnego w wyniku możliwości poszerzenia realizowanych przez niego zadań oraz zwolnienia od zadań związanych z realizacją cyklu pracy obrabiarki,
- zmniejszenia wartości środków obrotowych w wyniku skrócenia cyklu produkcyjnego, wielkości partii oraz niezbędnych zapasów itp.,
- komputerowej integracji całkowitego strumienia informacyjnego, zdolności do całodobowej pracy oraz bezpośredniej łączności ze wszystkimi uczestnikami produkcji.

Również zmniejszeniu straty z powodu braków i w wielu przypadkach obniżeniu ulegają nakłady na wyposażenie.

Dane wyjściowe do realizacji procesu wdrażenia ESP są formułowane, z uwzględnieniem konkretnych warunków, w sposób indywidualny, dlatego też niżej przedstawiono tylko wybrane przykłady. Wdrożenie ESP jest korzystne, w przypadku, kiedy zakres produkcji jest większy niż 2 części na godzinę, liczba jednostek wyposażenia przewyższa 5, a produkty są przemieszczane przy zastosowaniu zautomatyzowanych środków transportowych. W takich warunkach jest możliwe skrócenie cyklu produkcyjnego od 5 do 6 razy, zmniejszenie powierzchni produkcyjnych o 40%, kosztów administracyjnych o 12%, a kosztów pracy o 25%. Kryteria i zalecenia odnośnie skutecznego wdrażenia ESP są przedstawione w [1.7, 1.10].

Skuteczność ESP w obecnej chwili wystarczy oceniać wg wskaźników jakościowych i danych zawartych w technologicznym schemacie projektu, ponieważ metodologia oceny skuteczności automatycznych systemów CAD, ZSZP i innych nie uwzględnia dużej liczby ważnych czynników, zwłaszcza w przypadku przedsiębiorstw-projektantów. Racjonalność tego podejścia jest także uzasadniona tym, że metodyka jakościowa opiera się na logicznych koncepcjach od analizy których tradycyjnie zaczyna się badanie obiektu.

Stosowanie technologicznego schematu do oceny skuteczności ESP zapewnia możliwość wykorzystania poprzednio otrzymanego doświadczenia i parametrów, które zostały uzyskane jako niezbędny materiał do opracowania technologii ESP, a nie do określania jej skuteczności. Przykładowe dane pokazano w tab. 1.6, już na etapie projektu umożliwiają one ocenę oczekiwanej skuteczności ESP. Przy tym odpada konieczność głębokiego wykonywania pracochłonnych obliczeń wg istniejących metodyk.

Tab. 1.6. Podstawowe wskaźniki techniczno-ekonomiczne ESP

Podstawowe wskaźniki techniczno-ekonomiczne	Produkcja		
	na obrabiarkach uniwersalnych	na obrabiarkach NC	w ESP
Liczba obrabiarek	70	16	7
Współczynnik obciążenia	0,3	0,6	0,85–0,95
Czas cyklu produkcyjnego (w dniach)	45	9	4
Czas przygotowania produkcji (w miesiącach)	15	9	6
Liczba pracowników obsługujących obrabiarkę	90	26	4
Liczba operatorów i ustawiaczy	–	8	10
Liczba inżynierów ds. BHP i programistów	–	–	14
Liczba pracowników obsługujących procesy transportowe	8	4	–

Wdrożenie ESP polega na kompleksowym określeniu środków, umożliwiających planową eksploatację ESP odpowiednio do zakresu rozposzechnienia produkowanych wyrobów i wskaźników określonych w zleceniu technicznym. Przybliżone terminy wdrożenia opracowanego systemu (tzn. osiągnięcie zaprojektowanej mocy) w stosunku do systemów zautomatyzowanych, w tym przypadku porównywalnych do ESP są następujące:

- optymistyczne – 2–3 lata,
- faktyczne – 4–5 lat,
- rentowne – 5–7 lat.

Z doświadczenia wynika, że planowane początkowo nakłady inwestycyjne ulegają istotnemu zmniejszeniu. Faktyczne nakłady są większe od 1,5 do 3 razy.

Metodyka dopuszczenia ESP do użytkowania przewiduje przeprowadzenie analogii do produkcji tradycyjnej, jak również do wdrożenia zautomatyzowanych systemów o różnym przeznaczeniu. Obowiązkowym czynnikiem skutecznego wdrożenia ESP jest zainicjowanie procesu i regularna kontrola jego realizacji przez zarząd przedsiębiorstwa.

Wdrożenie ESP odbywa się w oparciu o harmonogramy sieciowe określające etapy wdrożenia, opracowane w trakcie pracy nad zleceniem technicznym przez przedsiębiorstwo-zleceniodawcę oraz uściślane na etapie projektu technicznego.

Podstawowym celem w toku wdrożenia ESP jest maksymalnie szybkie osiągnięcie wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Prace w zakresie wdrożenia ESP zawierają następujące etapy podstawowe:

- opracowanie ścisłych instrukcji reglamentujących procesy transformacji surowców w produkt,
- kompletowanie obejmujące złożenie wniosków na materiały, wyposażenie, otrzymanie i realizację funduszy,
- produkcja środków technicznych i wyposażenia,
- prace budowlano-montażowe związane z przygotowaniem pomieszczeń, kanałów kablowych, fundamentów, montażem środków technicznych;
- dobór i nauka personelu obsługującego,
- organizacja nadzoru autorskiego,
- uruchomienie obejmujące ustawienie urządzeń i wyposażenia, zainstalowanie i uruchomienie programów sterujących sprzętem technologicznym i procesem technologicznym w trybie autonomicznym, zainstalowanie i uruchomienie pozostałego oprogramowania i kompleksowe nastawienie ESP,
- oddanie wydziałów ESP wg specjalnego programu badań zdawczo-odbiorczych do użytkowania doświadczalnego, w toku którego odbywa się testowanie oprogramowania i środków technicznych, określenie ich charakterystyk użytkowych, korekta dokumentacji operacyjnej oraz określanie wskaźników techniczno-ekonomicznych,
- korekta dokumentacji technologicznej, konstruktorskiej i budowlano-montażowej wg wyników wdrożenia i przekazanie jej do archiwum;
- konstrukcyjno-technologiczne testowanie produktów,
- oddanie ESP do użytkowania przemysłowego.

Najbardziej odpowiedzialne są etapy użytkowania doświadczalnego i oddania ESP do użytkowania przemysłowego.

ESP jest dopuszczane do użytkowania przemysłowego przez komisję po sprawdzeniu dokumentacji technicznej, zgodności zlecenia technicznego i dokumentacji, sprawdzeniu funkcjonowania, ocenie poziomu technicznego i skuteczności pracy, określeniu gotowości przedsiębiorstwa do użytkowania ESP.

Według wyników odbioru i dopuszczenia do użytkowania przemysłowego sporządza się akt, do którego załącza się obliczenia skuteczności ekonomicznej, protokoły badań oraz plan przedsięwzięć w zakresie usunięcia uwag komisji odbiorczej.

Należy uwzględnić to, że w ESP człowiek jest elementem procesu technologicznego. Przy tym praca jednego pracownika uzależniona jest od pracy innych, którzy w sumie tworzą nie do końca na razie zbadany system społeczno-techniczny. Udział w opracowaniu i wdrożeniu ESP powinien być w odpowiedni sposób premiowany.

Poziom organizacji wdrożenia ESP w dużym stopniu jest określany w toku użytkowania systemu.

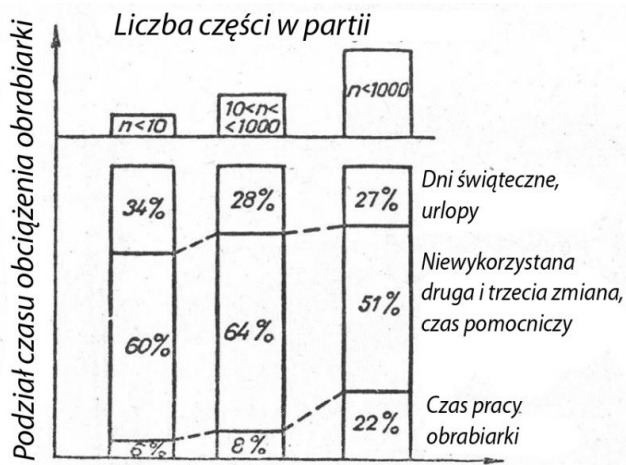
1.8.2. Skuteczność zautomatyzowanej produkcji zróżnicowanej

Współczesne maszyny zautomatyzowane wyróżniają się wysoką wydajnością i niezawodnością. Proces produkcji takich maszyn staje się coraz bardziej skomplikowany i pracochłonny, a potrzeba ciągłego doskonalenia wyrobów w przemyśle maszynowym wymaga skrócenia terminów wdrażania ich do produkcji. Oddziaływanie tych czynników nieco zmienia współczesną budowę maszyn, które wyróżnia się mobilnością, tzn. możliwością szybkiego przejścia na nowy rodzaj produkcji i skutecznością, która zależy od szeregu wskaźników produkcyjnych, w tym od stopnia wykorzystania sprzętu.

Mobilność występuje także w przypadku nie zautomatyzowanej produkcji małoseryjnej czy seryjnej, która jednak przy braku automatyzacji jest niskoefektywna. W produkcji jednostkowej i seryjnej są stosowane dość proste maszyny technologiczne o wysokim poziomie uniwersalności i sterowane ręcznie przez robotnika. W przypadku tego typu produkcji jest charakterystyczna duża ilość różnych wyrobów, które przechodzą przez maszynę.

Stopień wykorzystania maszyn technologicznych na przykład w produkcji małoseryjnej wynosi tylko 6% rocznego funduszu czasu, w seryjnej – 8%, natomiast w produkcji wielkoseryjnej i masowej – 22% (rys. 1.26). W produkcji nie zautomatyzowanej charakterystyczny jest także długi cykl produkcji, ponieważ tylko 5% ogólnego czasu przebywania części w hali produkcyjnej przypada na jej obróbkę na obrabiarce, reszta to czas oczekiwania międzyoperacyjnego [1.7].

Kompleksowa automatyzacja produkcji średnio- i małoseryjnej, w przypadku której jest charakterystyczna częsta zmiana produkowanych wyrobów, przyczyniła się do rozwoju elastycznej zautomatyzowanej produkcji. Produkcja zróżnicowana to małoseryjna i seryjna produkcja wyrobów, której automatyzacji nie można dokonywać w ten sam sposób jak automatyzacji produkcji masowej. W warunkach produkcji masowej proces technologiczny jest dzielony na proste operacje, z których każda jest wykonywana za pomocą prostych środków technicznych. W tym przypadku jednak komplikuje się automatyzacja obciążenia wyrobami każdej pozycji roboczej, kontrola jakości wykonania operacji technologicznych oraz transport wyrobów między operacjami. Można uważać, że złożoność automatyzacji wzrasta proporcjonalnie do stopnia rozdrobnienia procesu technologicznego.



Rys. 1.26. Struktura czasu obciążenia obrabiarki

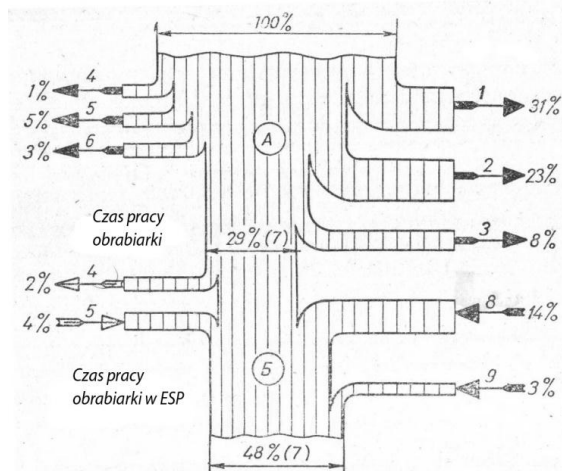
Przy automatyzacji produkcji małoseryjnej i seryjnej jest szeroko stosowana koncentracja operacji, która umożliwia zwiększenie jakości wyrobów, skrócenie czasu przez obniżenie liczby operacji pomocniczych, lepsze warunki zarządzania produkcją. Zwiększenie koncentracji obróbki można uzyskać w wyniku wyposażenia maszyn technologicznych w układy sterowania numerycznego (NC), umożliwiające automatyczną realizację ruchów organów roboczych obrabiarki, stosowanie dużej liczby automatycznie zmienianych narzędzi i szybką wymianę programów sterujących.

Nowe możliwości technologiczne obróbki mechanicznej uzyskiwane w wyniku zastosowania obrabiarek NC bezpośrednio wpływają na wymagania stawiane konstrukcji wyrobu i technologii jego wykonania. Przy podziale wyrobu na części zamiast zasady „części są proste, ich liczba w wyrobie nie jest ważna” należy stosować zasadę „złożoność części nie jest ważna, ich liczba w wyrobie ma być minimalna”. W tym przypadku lepiej są wykorzystywane możliwości technologiczne obrabiarek NC. Zmniejsza się także koszt obróbki mechanicznej na skutek obniżenia strat czasowych na operacjach pomocniczych i obsługi oraz koszt montażu dzięki bardziej precyzyjnemu wzajemnemu usytuowaniu powierzchni w skomplikowanych częściach i obniżeniu łącznej liczby jednostek montażowych.

Inna ważna zaleta obrabiarek NC to łatwość przebrojenia – zapewnia elastyczność produkcji, która przyczynia się do zwiększenia stopnia wykorzystania urządzeń i skrócenia terminów opanowania produkcji nowych wyrobów.

Zwiększenie elastyczności zautomatyzowanej produkcji umożliwia [1.7, 1.10]:

1. Skrócenie czasu wdrożenia nowego wyrobu.
2. Podwyższenie jakości wyrobów uzyskane w wyniku większej dokładności obrabiarek NC i obrabianych części, a także wysokiej koncentracji obróbki na każdej obrabiarence oraz usunięcia wpływu subiektywnych czynników na proces obróbki. Wyższa jakość części ułatwia montaż automatyczny i obniża jego koszty. Na IV Konferencji Międzynarodowej dotyczącej zagadnień automatyzacji produkcji (maj 1987 r., Birmingham, Anglia) zaakcentowano, że na współczesnym etapie rozwoju automatyzacji produkcji podstawowym zadaniem jest polepszenie jakości wyrobów i skrócenie czasu opanowania nowego wyrobu.
3. Zwiększenie wydajności osiągane w warunkach elastycznej automatyzacji poprzez intensyfikację obróbki oraz wykorzystanie rezerw czasowych. W zautomatyzowanych elastycznych systemach maszynowych obróbka jest wykonywana jednym narzędziem przy parametrach skrawania podobnych do obróbki konwencjonalnej. Tylko racjonalne wykorzystanie rezerw czasowych umożliwia zwiększenie obciążenia obrabiarki. Istotnemu skróceniu ulega czas wykonania operacji pomocniczych i kontrolnych, ponieważ koncentracja obróbki prowadzi do skrócenia dróg technologicznych. Obniżeniu ulega także czas przestojów obrabiarki z powodów technicznych (uszkodzenie jej mechanizmów i narzędzi) i organizacyjnych (brak personelu, materiałów, narzędzi, osprzętu, energii itd.) oraz przebrojenia urządzeń. Obrabiarka także nie pracuje w dni wolne i świąteczne i w czasie trzeciej zmiany. Inna organizacja pracy obrabiarki NC, na przykład włączenie jej do ESP, powoduje, że jest wykorzystywana przez 6 godz. na trzeciej zmianie bez obsługi, co stanowi 14% funduszu czasu (rys. 1.27). Obrabiarka może również pracować w czasie przerw obiadowych (3% funduszu czasu), można usprawnić jej zaopatrzenie w narzędzia, półwyroby, osprzęt (4%). Wszystko umożliwia zwiększenie czasu pracy obrabiarki do 48% kalendarzowego funduszu czasu.
4. Zmniejszenie kosztów własnych wyrobów można osiągnąć w wyniku zastosowania robota przemysłowego, którego koszty pracy są niższe niż wynagrodzenie pracowników wykonujących tę samą pracę co robot, oraz obniżenia kosztów magazynowania międzyoperacyjnych rezerw części. Wg danych japońskich autorów jeden robot przemysłowy kosztuje 10 mln jen, co równa się wynagrodzeniu robotnika uzyskiwanemu w trakcie 5 lat pracy, przy założeniu, że pracuje on 8 godz. dziennie. Uwzględniając, że robot może pracować więcej niż 8 godz. na dobę, a okres jego pracy przekracza 5 lat, jest oczywiste, że jego zastosowanie obniża koszt własny produkcji. Jeszcze jednym źródłem obniżenia kosztów własnych produkcji jest zmniejszenie ilości produkcji w toku od 30 do 60%, obniżenie międzyoperacyjnych rezerw materiałów, części i wyrobów.



Rys. 1.27. Bilans czasu obrabiarki NC pracującej osobno (A) oraz w składzie ESP (B): 1 – dni wolne i świąteczne; 2 – trzecia zmiana; 3 – brak materiału, narzędzi itd.; 4 – uszkodzenia sprzętu; 5 – wymiana narzędzi; 6 – przebrojenie; 7 – ciągła praca obrabiarki; 8 – praca bez personelu w ciągu 6 godz. w trzeciej zmianie; 9 – praca w czasie przerwy obiadowej

- Obniżenie liczby pracowników w wyniku zastosowania automatycznych wyposażenia, zwiększenie autonomiczności ich funkcjonowania, wykorzystanie pomocniczych systemów automatycznych umożliwiających sprawne funkcjonowanie podstawowego wyposażenia technicznego, wdrożenie do produkcji systemów automatyzacji technologicznego przygotowania produkcji.

1.8.3. Elastyczność ESP

Problemy automatyzacji wytwarzania szerokiego asortymentu wyrobów rozwiązuje elastyczna zautomatyzowana produkcja (EZP). Jedną z głównych cech EZP jest elastyczność. Elastyczność systemu produkcyjnego jest jego właściwością polegająca na dostosowaniu się do wytwarzania gamy wyrobów z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z ich cech [1.28, 1.35, 1.44].

Elastyczność jest określona przez:

- uniwersalność – charakteryzuje możliwości dostosowania systemu produkcyjnego do realizacji zadań, a więc jego możliwości technologiczne (w przypadku systemu produkującego stały asortyment wyrobów). Uniwersalność jest określana liczbą produktów, które mogą być w nim wytwarzane);
- mobilność – charakteryzuje czas dostosowania systemu produkcyjnego do wytwarzania innych elementów.

Charakterystykę ilościową elastyczności systemu technologicznego można określić jako:

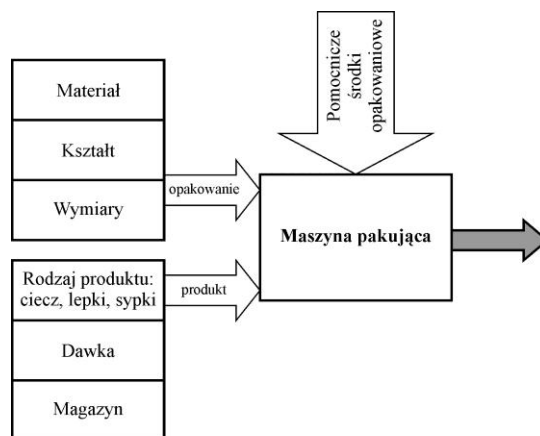
$$G = K_y \cdot K_M \quad (1.1)$$

gdzie: K_y – współczynnik uniwersalności systemu technologicznego;
 K_M – współczynnik mobilności.

Uniwersalność ESP jest określana uniwersalnością każdego elementu funkcjonalnego systemu (np. mechanizmu maszyny). Na przykład, ZKT odlewania wyrobów z tworzyw sztucznych obejmuje poniższe elementy funkcjonalne: urządzenie formowania wtryskowego, formy odlewnicze, robot przemysłowy z uchwytem, magazyn części. Uważa się, że na urządzeniu do formowania wtryskowego można wykonywać wiele różnych części. Każdy z pozostałych elementów funkcjonalnych zmniejsza jego uniwersalność, ponieważ robot może chwycić tylko niektóre części, nie wszystkie części można umieścić w magazynie. Największe ograniczenia odnośnie części wynikają z konstrukcji formy odlewniczej. Im więcej elementów funkcjonalnych oddziałuje na część znajdującą się na obrabiarkę, tym niższa jest jej uniwersalność [1.25, 1.31].

W celu określenia współczynnika uniwersalności, np. maszyny do pakowania należy zbadać wszystkie rodzaje składników opakowań, które mogą być wyprodukowane na maszynie, tzn. (rys. 1.28):

- rodzaj produktu (ciecz, lepki, sypki, pojedynczy),
- skład produktu (jednoskładnikowy, dwuskładnikowy, itp.),
- dawka produktu (stała, dwie opcje, trzy opcje dawki, itp.),
- rodzaje materiału opakowaniowego (PE, PP, PS, papier, itp.),
- rodzaj pojemnika (półprodukt, opakowanie gotowe, kubki itp.).



Rys. 1.28. Źródła uniwersalności maszyny pakującej

Liczba typów pakowanych produktów wytworzonych w urządzeniu lub automatycznej linii jest określana z zależności:

$$n = n_t \cdot n_m \cdot n_k \cdot n_{str} \cdot n_{daw}, \quad (1.3)$$

gdzie: n_t – liczba typów dozowanego produktu,
 n_m – liczba typów materiałów opakowaniowych,
 n_k – liczba typów kształtów pojemników, które mogą być stosowane,
 n_{str} – liczba wariantów struktury produktu,
 n_{daw} – liczba możliwych dawek w opakowaniu.

Współczynnik uniwersalności K_u zależy od liczby różnych stanów systemu technologicznego, z których każdy odpowiada stanowi sprawności do wytwarzania lub pakowania jednego typu wyrobów. W celu zapewnienia wartości współczynnika K_u w zakresie od 0 do 1, przy liczbie typów wyrobów od 1 do ∞, przeprowadza się normalizację:

$$K_y = 1 - \frac{1}{n}, \quad (1.4)$$

gdzie: n – liczba typów wytwarzanych wyrobów (rys.1.28).

Załóżmy na przykład, że automatyczna maszyna pakująca pionowa pozwala pakować do pakietów z polietylenu lub polipropylenu sypkie, płynne (mleko) i lepkie (śmietana, koncentrat pomidorowy) produkty dawki 250, 500, 1000 g. Wtedy liczba rozmiarów opakowań zostanie określona jako:

$$n = n_t \cdot n_m \cdot n_k \cdot n_{str} \cdot n_{daw} = 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 = 12 \text{ typów}.$$

Współczynnik uniwersalności jest równy:

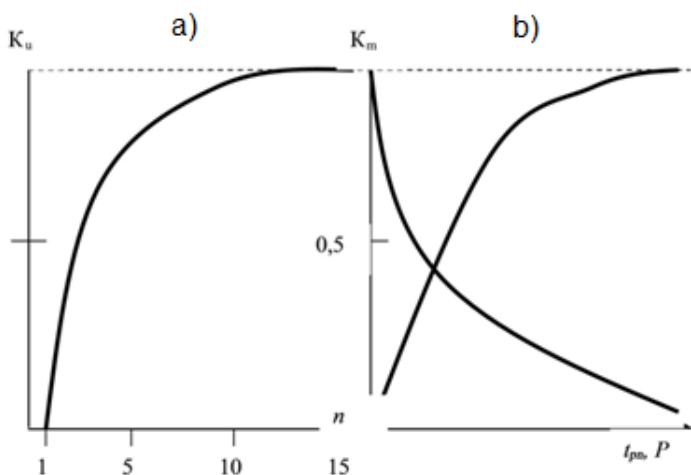
$$K_y = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{12} = 0,916666.$$

Współczynnik mobilności opisuje możliwość ESP przejścia na wytwarzanie innego typu wyrobu. Uwzględnia czas niezbędny na wykonanie przeobrażenia systemu. Oblicza się go jako:

$$K_M = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n T_{ni}}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot P_i}}, \quad (1.5)$$

gdzie: T_{ni} – czasu przeobrażania ESP,
 t_i – czas obróbki wyrobu i -go typu,
 P_i – liczba produkowanych wyrobów,
 n – liczba wyrobów (z uwzględnieniem ich wymiarów), które mogą być
 wytworzone w danym ESP.

Zwiększenie współczynnika mobilności wymaga zapewnienia możliwości szybkiego rekonfigurowania wszystkich mechanizmów roboczych i pomocniczych maszyny, oddziałujących na produkt. Współczynnik mobilności można zwiększyć działaniami organizacyjnymi na przykład przez zwiększenie ilości produkowanych wyrobów jednego typu.



Rys. 1.29. Zależność współczynnika uniwersalności od liczby typów wyrobów (a) oraz współczynnika mobilności od czasu przeobrażania i ilości produkowanych wyrobów (b)

Współczynnik elastyczności systemu technologicznego ogólnie można określić jako:

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n T_{ni}}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot P_i}} \quad (1.5)$$

Według elastyczności układy ESP można podzielić na:

- o wysokiej elastyczności, w tym przypadku asortyment jednego modułu produkcyjnego wynosi ponad 100. Czas przezbierania stanowi nie więcej niż 10% funduszu czasu u,
- o średniej elastyczności – asortyment jednego modułu produkcyjnego wynosi od 20 do 100 sztuk. Czas przezbierania stanowi około 20%,
- o małej elastyczności – asortyment do 20 pozycji; czas przezbierania – ponad 20%.

1.9. Główne kierunki doskonalenia elastycznej zautomatyzowanej produkcji

Rozwój ESP jest jednym z najtrudniejszych zadań współczesnej produkcji. Sprzeczności między specjalizacją maszyn w ESP w celu uzyskania wysokiej wydajności, a elastycznością – możliwością ich szybkiego przezbierania i dostosowania do realizacji nowych zadań jest rozwiązywana przez zastosowanie nowoczesnych metod projektowania ESP [1.5].

Główne kierunki w zakresie projektowania ESP to:

1. Rozwój teorii kompleksowej optymalizacji procesów wytwarzania, w tym wybór najbardziej skutecznych metod działania i racjonalnych układów procesów.
2. Opracowanie metod optymalizacji syntezy maszyn technologicznych, umożliwiających poszukiwanie racjonalnego układu, zapewniającego najlepsze parametry techniczne i ekonomiczne.

Opracowanie teorii optymalnej koncentracji operacji grupowych w procesach produkcyjnych i optymalizacji układów ESP. Teoretyczne podstawy optymalnego projektowania procesów grupowych są podstawą naukowych metod, umożliwiających opracowanie danych wejściowych do opracowania opcji konstrukcji ESP, przeprowadzenia analizy porównawczej, określenia i wyboru najlepszej opcji.

Metoda syntezy układów ESP powinna zapewnić znalezienie zestawu opcji technicznie wykonalnych procesu grupowego i układu ESP oraz ich ukierunkowaną selekcję przy zastosowaniu komputera, a także wybór zapewniającego odpowiednią jakość i ilość ekonomicznie produkowanych wyrobów.

Rozwój metod optymalizacji syntezy i analizy struktury modułowej ESP. Podstawą jest model matematyczny, umożliwiający określenie wydajności, niezawodności i opłacalności ESP oraz parametrów technologicznych, strukturalnych i eksploatacyjnych.

Teoretyczną podstawą optymalnego projektowania ESP są metody naukowe, umożliwiające, w oparciu o dane wejściowe, opracowanie zestawu rozwiązań technicznych oraz przeprowadzenia analizy porównawczej, i a także określenia najlepszego rozwiązania.

Функционально-модульная будова ESP уможливіа okreśленіа раціонального уклада з заставів модулів функціональних, чо уможливіа:

1. Змнієшеніа часу і зложоноці проєктowania і будова ESP ораз его елемементів складових в резултате застосования готових модулів функціональних.
2. Звієкшеніа здолноці проєкційної модульового систему в wyniku его ціаєлїа розбудова.
3. Звієкшеніа незаводоноці машин і ліній модульових в wyniku вчє-снієшого допрацоваанія их конструкції.

LITERATURA

- [1.1] А.С. 1564056, СССР, МКИ В65 D 25/10; В 23 Q 7/00. Многофункциональная кассета / Б.А.Пальчевский, З.И.Пеклич, С.И.Гонтаревский, О.Р.Дацко (СССР). № 4265135/31-15; Заявлено 18.06.88; Опубл. 15.05.90, Бюл. № 18, 2с.
- [1.2] А.с. 1611695, СССР, МКИ В 23 Q 7/10. Кассета / Б.А.Пальчевский, З.И.Пеклич, С.И.Гонтаревский, О.Р.Дацко, В.В.Ступницкий (СССР). № 4436111/31-08; Заявлено 06.06.88; Опубл. 07.12.90, Бюл. № 45, 4 с.
- [1.3] А.с. 1646702, СССР, МКИ В23 В 31/20. Цанговый патрон / Б.А.Пальчевский, З.И.Пеклич, С.И.Гонтаревский, Р.В.Корбецкий, В.А.Высоцкий (СССР). № 4719688/08; Заявлено 19.05.89; Опубл. 07.05.91, Бюл. № 17, 3 с.
- [1.4] А.с. 1722961, СССР, МКИ В65 D 25/10; В 23 С 7/00. Многофункциональная кассета / Б.А.Пальчевский, З.И.Пеклич, С.И.Гонтаревский, В.В.Ступницкий, О.Р.Дацко (СССР). № 4673759/13; Заявлено 04.04.89; Опубл. 30.03.92, Бюл. № 12, 3 с.
- [1.5] Автоматизация дискретного производства /Бонев Б.Е. и др.-М.: Машиностр., 1987, 376 с.
- [1.6] Валетов В.А., Орлова А.А., Третьяков С.Д. Интеллектуальные технологии производства приборов и систем. Учебное пособие, – СПб: СПб ГУИТМО, 2008, 134 с.
- [1.7] Васильев В. Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. М., 1986, 312 с.
- [1.8] Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2009, 288с.
- [1.9] Гибкие производственные системы: опыт немецких производителей (часть 3): <http://www.ur-pro.ru>
- [1.10] Гибкое автоматическое производство / Под общ. ред. Майорова С. А., Орловского Г. В., Халкиопова С. П. Л., 1985, 454 с.
- [1.11] ГОСТ 26228–86. Системы производственные гибкие. Термины и определения. М.: Госстандарт, 1987, 16 с.
- [1.12] ГОСТ 26962–86. Гибкие производственные модули. Термины и определения. М.: Госстандарт, 1987, 12 с.
- [1.13] Гужва В.М. Інформаційні системи і технології на підприємствах: Навч. Посібник / В.М.Гужва. К.: КНЕУ, 2001, 400 с.
- [1.14] Гусев И. Т., Елисеев В. Г., Маслов А. А. Устройство числового программного управления. М., 1986, 295 с.
- [1.15] Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001, 352с.
- [1.16] Доморацкий І.А., Павлиш В.А. Комплексна автоматизація виробництва РЕА (ідеї, моделі, проєкти): навч. Посібник. К.: УМК ВО, 1992, 136 с.
- [1.17] <http://www.erman.ru/articles/horizons.html>

- [1.18] <http://www.tadviser.ru/index.php>
- [1.19] Информационные технологии в бизнесе /Под ред. М. Желены. – СПб: Питер, 2002, 1120 с.: ил. (Серия «Бизнес-класс»).
- [1.20] Лодон Дж. Управление информационными системами. 7-е изд. /Пер. с англ. Под ред. Д.Р. Трутнева / Дж.Лодон. К.Лодон. СПб.: Питер, 2005, 912 с.: ил. (Серия «Классика МВА»).
- [1.21] Мизюн В.А. Интеллектуальное управление производственными системами и процессами: принципы организации и инструменты / В.А. Мизюн. Тольятти: СНЦ РАН, 2012, 214 с.
- [1.22] Мизюн В.А. Управление производственными системами и процессами. Электронное издание. - Издательство СНЦ РАН. 2012, 211 с.
- [1.23] Нахапетян Е. П. Реконфигурируемые производственные системы. Стружка / Е. П. Нахапетян, А. Н. Феофанов. 2006. № 3. С. 12–14, 3 ил. Библ. 9. Рус.
- [1.24] Павлиш В.А. Основи інформаційних технологій і систем.: навч. посібник / В.А. Павлиш, Л.К. Гліненко. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013, 500 с.
- [1.25] Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів). Навчальний посібник. Львів: Світ, 2007, 392 с.
- [1.26] Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування. Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2012, 576 с.
- [1.27] Пальчевський Б.О. Структурно-варіативний метод формування гнучкості технологічних систем // Машинознавство, 2004, № 10, с.23–27
- [1.28] Пальчевський Б.О. Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва: Навчальний посібник. – Львів: Світ, 1994, 208 с.
- [1.29] Пальчевський Б.О., Бондарчук Д.В. Аналіз гнучкості пакувальних машин функціонально-модульної будови // Матеріали науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія України», 22–25 травня 2007 р., м.Алушта. К.: 2007, с. 214–221.
- [1.30] Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А. Проектування транспортно-технологічних схем пакування// Упаковка, №5, 2004, с.24–27.
- [1.31] Пальчевський Б.О.Гнучка автоматизація пакувального виробництва // Упаковка, 2006, №1, с.70–72.
- [1.32] Прикладная логистика: НИЦ: <http://www.cals.ru>
- [1.33] Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей / Под общ. ред. Соломенцева К) М. М., 1989,189 с.
- [1.34] Советов Б.Я. Ткоретические основы автоматизированного управления: Учебник для вузов / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский, В.Д. Чертовской. М.: Высш. шк., 2006, 463 с.: ил.
- [1.35] Соломенцев Ю. М., Кутин А. Л., Шептунов С. А. Оценка гибкости автоматизированной станочной системы//Вест, машиностроения. 1984. № 1, С. 38–40.
- [1.36] Стискин Г. М., Гаевский В. Д. Токарные станки с оперативным программным управлением. К.: Вища школа, 1989, 176 с.
- [1.37] Трофимов Е.Ф., Епархин О.М., Вершинина Н.И. CALS-технологии: стандартизация электронного представления и обмена технической и коммерческой информацией: монография. Ярославль: ЯГТУ, 2008, 197 с.
- [1.38] Koren Y. The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems / Yoram Koren. – Copyright, 2010, 422 p.
- [1.39] Krywczuk J., Gola A., Актуальное состояние и перспективы развития гибкой автоматизации производства в Польше, Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту”, Севастопол, 2010, s. 253–254.

- [1.40] Leszczyńska A., Gola A., Konceptualizacja wiedzy dla potrzeb doboru podsystemu obrabiarek ESP, *Przegląd Mechaniczny*, nr 5/2007, s. 76–79.
- [1.41] Gola A., Procesy produkcji w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych (ZSP) [w:] Szatkowski K. (red.): *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*, „Wyd. PWN, Warszawa 2014, s. 170–225.
- [1.42] Gola A., Sobaszek Ł., Świć A.: Selected Problems of Modern Manufacturing Systems Design and Operation [in:] Koukolova L., Świć A. (ed.): *Robotics and Manufacturing Systems*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2014, pp. 56–68.
- [1.43] Gola A., Montusiewicz J., Świć A., Computer Aided FMS machine tools subsystem selection using the Evolutionary System of Multicriteria Analysis, *Applied Computer Science*, Vol. 7, No. 1, 2011, pp. 18–29.
- [1.44] Gawlik J., Plichta J., Świć A., *Procesy produkcyjne*, PWE, Warszawa 2013, 316 s.
- [1.45] Banaszak Z., Muszyński W., *Systemy elastycznej automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1991.
- [1.46] Lewandowski J., Skołod B., Plinta D., *Organizacja systemów produkcyjnych*, PWE, Warszawa 2014, 347 s.

2. ZASADY PROJEKTOWANIA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

Elastyczne systemy produkcyjne (ESP) jako obiekt projektowania zawierają różne elementy, np. maszyny technologiczne – urządzenia ze zautomatyzowaną wymianą oprzyrządowania technologicznego. Głównym zadaniem w procesie projektowania jest zagwarantowanie funkcjonowania systemu przy określonych przez warunki techniczne parametrach:

- podsystemu technologicznego, co umożliwi obróbkę wyrobów,
- podsystemu transportowo-magazynowego, co umożliwi przemieszczanie elementów przez strefy robocze sprzętu technologicznego (manipulowanie, transportowanie, a także magazynowanie produkcji),
- podsystemu sterowania – zapewniającego możliwość koordynacji pracy systemów, urządzeń i elementów ESP oraz związek z zewnętrznym otoczeniem i odpowiednią kontrolę funkcjonowania ESP.

Projektowanie ESP jest skomplikowanym procesem i staje się coraz bardziej złożone. Technologia projektowania ESP charakteryzuje się dużym czasem „reakcji na błąd”: wiele błędów można wychwycić dopiero w trakcie prób i eksploatacji systemu. W tych warunkach błędy, popełnione na początkowych etapach projektowania ESP, powodują konieczność dopracowywania systemu w trakcie jego eksploatacji i generują dodatkowe nakłady kapitałowe.

Zagwarantowanie możliwości skrócenia terminów budowy ESP wymaga utworzenia systemu CAD ESP. Rozwój współczesnych systemów produkcyjnych powoduje szybkie moralne starzenie sprzętu technologicznego i prowadzi do opracowania współczesnych technologii projektowania ESP na przykład technologii projektowania „przyspieszonego”. W podstawie tych technologii projektowania leżą różne metodyki optymalizacji strukturalnej ESP. Zagadnienie syntezy strukturalnej, z punktu widzenia możliwości jego formalizacji, należy do najbardziej skomplikowanych, ponieważ często jest problemem NP trudnym. Duży zakres zadania przy syntezie ESP powoduje, że jest celowe stosowanie podejścia hierarchicznego, w tym przypadku syntezie podlega nie cały obiekt, a na każdym poziomie hierarchicznym są syntetyzowane określone podsystemy ESP. Taka technologia projektowania przewiduje nawroty na każdym etapie opracowywania projektu ESP i sprawdzanie na modelu uzyskanych (na tym etapie) wyników. Jako podstawę projektowania ESP założono, że przedstawiony przy pomocy modelu system podlega ciągłym zmianom i komplikacjom, począwszy od modelu abstrakcyjnego na poziomie początkowym i skończywszy na poziomie, na którym efektem projektowania jest projekt roboczy.

Poniżej przedstawiono zasady, w oparciu o które jest opracowywana technologia przyspieszonego projektowania ESP.

1. Systemowe podejście przy projektowaniu ESP, który umożliwia wyodrębnienie związków funkcjonalnych i strukturalnych. Umożliwia także opracowanie optymalnej struktury ESP analizowanej jako zagadnienie syntezy strukturalnej.
2. Funkcjonalno-modułowy hierarchiczny opis systemu maszyn wchodzących w skład ESP.
3. Modelowanie elementów systemu maszyn na różnym poziomie hierarchicznym (powierzchnia – część – mechanizm – maszyna – system maszyn).
4. Technologia projektowania określona, jako następstwo etapów syntezy modelu ESP, do której podczas projektowania wprowadzane są zmiany i która pozwala ocenić i sprawdzić podjęte decyzje.

Ogólnie strukturę ESP można przedstawić jako składającą się z trzech podstawowych podsystemów [2.15, 2.28, 2.29, 2.33]:

1. Technologicznego (urządzenia technologiczne);
2. Transportowo-magazynowego (urządzenia do międzyoperacyjnego transportowania, magazynowania i manipulowania);
3. Sterującego-diagnostyczny (system sterowania, urządzenia pomiarowe, urządzenia blokujące itp.).

Funkcje tych podsystemów i techniczne środki ich realizacji określono w tab. 2.1.

Tab. 2.1. Funkcje podstawowych podsystemów ESP i techniczne środki ich realizacji

Podsystem ESP	Funkcje	Techniczne środki realizacji
Technologiczny	Zmiana fizyko-mechanicznych właściwości wyrobu odpowiednio do wymagań technologicznych	Technologiczne maszyny o różnym poziomie automatyzacji – automaty, półautomaty, maszyny z ręcznym sterowaniem
Transportowo-magazynowy	Dostarczanie wyrobów do urządzeń technologicznych w określonym położeniu, zmiana orientacji, rozładowanie urządzenia, magazynowanie i grupowanie, zmiana charakterystyk potoku wyrobów pomiędzy maszynami	Transportery różnych rodzajów, zbiorniki, bufory – załadunkowe urządzenia z magazynami, zautomatyzowane magazyny, urządzenia do zmiany charakterystyk potoku wyrobów
Sterująco-diagnostyczny	Kontrola parametrów wyrobów stanu maszyn i mechanizmów, kontrola realizacji programu, diagnostyka ESP	Urządzenia do automatycznej kontroli, czujniki, urządzenia blokujące i tym podobne

Z zasad tych wynika, że do realizacji technologii projektowania ESP konieczne jest zastosowanie systemów typu CAD, a także podsystemów modelowania ESP na poziomach funkcjonalnych i strukturalnych.

2.1. Mechanizm analizy systemowej przy projektowaniu ESP

Przy opracowywaniu ESP są stosowane dwa najbardziej rozpowszechnione podejścia do jego analizy i rozwoju:

- konsekwentne lub krok po kroku,
- systemowe.

W pierwszym przypadku uwaga jest skoncentrowana na przebadaniu i opracowaniu technologii elementowej przy uwzględnieniu funkcji automatyzacji produkcji. Przy konsekwentnej rozbudowie ESP należy uwzględnić:

- urządzenia technologiczne urządzenia do przetwarzania programu NC,
- przemieszczenia (transport) gotowych wyrobów i półwyrobów oraz ich magazynowanie,
- kontrolę procesów technologicznych obróbki oraz diagnostykę,
- zaopatrzenie podsystemu załadowczo-wyładowczego w narzędzia i półwyroby,
- opracowanie harmonogramu pracy wyposażenia.

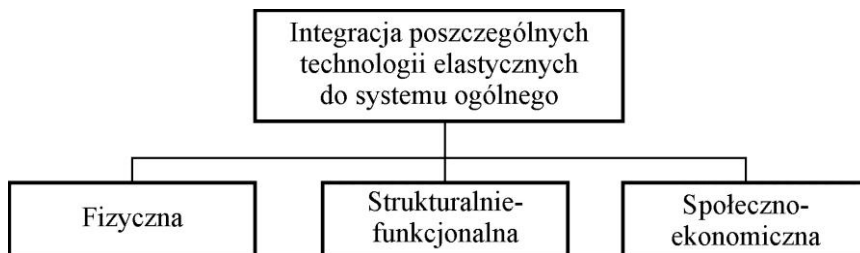
Doświadczenie pokazuje, że w tym przypadku koszty automatyzacji potoków materiałowych stanowią 80%, a na automatyzację przepływu informacji przypada 20% kosztów. W takich warunkach działaniom związanym z dalszym rozszerzeniem systemu poprzez przyłączenie dodatkowych podsystemów rozszerzających jego funkcje towarzyszą problemy wynikające z niewystarczającej standaryzacji środków do automatyzacji potoków materiałowych i brakiem ujednoczonych interfejsów sprzętu i strumieni informacyjnych.

Charakterystyczną cechą systemowego podejścia do budowy ESP jest równoległo-iteracyjna droga rozwoju, która prowadzi do równoległego rozwoju zarówno badań i opracowań ogólnosystemowych, jak i badań i opracowań w zakresie elementowych technologii elastycznych [2.1,2.19,2.27].

Obiektem badań ogólnosystemowych, prowadzonych przez międzydyscyplinarne zespoły specjalistów (organizacji), jest kompleksowa technologia elastyczna. Metodologiczna baza zawiera różnego rodzaju analizy oraz zasady prowadzenia badań dotyczących efektywności pracy oddzielnie poszczególnych podsystemów i efektów uzyskiwanych po ich integracji. Analiza systemowa może być prowadzona przy zastosowaniu różnych środków (modelowanie, podejmowanie decyzji, zarządzanie).

Badanie systemowe ESP można realizować na dwa sposoby.

1. Integracja elementarnych elastycznych technologii w system ogólny. Wyróżnia się następujące rodzaje integracji (rys. 2.1): fizyczna (topologiczna), strukturalno-funkcjonalna, społeczno-gospodarcza.



Rys. 2.1. Rodzaje informacyjnej integracji technologii w ESP

Podstawowym zadaniem **fizycznej (topologicznej)** integracji informacyjnej jest zapewnienie optymalnego fizycznego interfejsu w systemie. Można ją odnieść do strumieni materiałowych i informacyjnych i jest realizowana na zewnętrznym i wewnętrznym poziomie systemu. Na wewnętrznym poziomie systemu wyraża się przez połączenie na poziomach modułowym i między-modułowym obrabiarek NC, robotów, transportu, magazynów. Integracja obejmuje też funkcje zarządzania zapasami, środkami, planowania ogólnego oraz inne funkcje produkcyjne. Na poziomie zewnętrznym systemu odbywa się koordynacja współpracy z organizacjami partnerskimi lub współpracy sektorowej.

Podstawowe zadanie integracji **strukturalno-finansowej** to zapewnienie optymalizacji programów sterujących w systemie oraz ich interfejsów. W tym celu analizowana jest hierarchia systemowa, tzn. współzależność odrębnych podsystemów w systemie. W takich warunkach w centrum uwagi znajdują się sprzętowe i programowo-algorytmiczne środki funkcjonowania systemu, a także służby podstawowe i pomocnicze zapewniające ogólną niezawodność funkcjonowania systemu.

Podstawowym zadaniem integracji **społeczno-gospodarczej** jest utworzenie optymalnego interfejsu w systemie człowiek – produkcja. Ta integracja obejmuje zapewnienie optymalnego pod względem wydajności funkcjonowania produkcji i prawidłową transformację charakteru pracy w procesie automatyzacji. Przejście do maszynowych form pracy we właściwym czasie jest niezbędnym warunkiem skutecznego funkcjonowania produkcji elastycznej, ponieważ wraz ze zmniejszeniem personelu zatrudnionego w produkcji elastycznej coraz więcej funkcji jest realizowanych przez mniejszy zespół ludzi. W takich warunkach dochodzi do zmiany charakteru pracy w całej hierarchii systemu. Wzrost poziomu inteligencji technicznej wyposażenia i procesów wymaga także podniesienia kwalifikacji zawodowych pracowników.

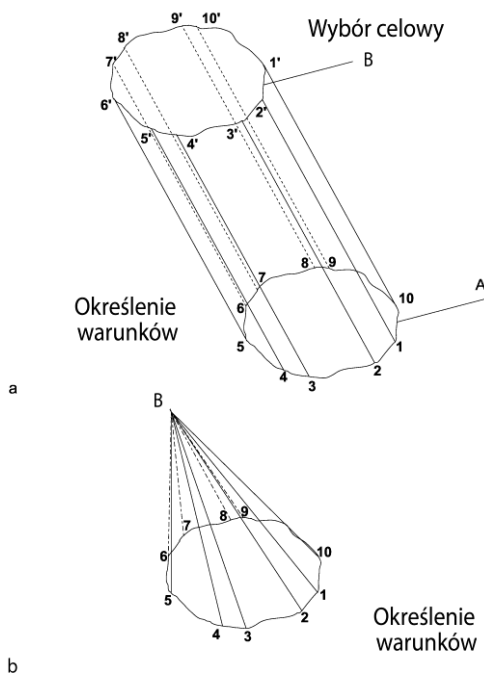
2. Systemowe modelowanie ESP jako obiektów złożonych, charakteryzuje się tym, że:
- opisy stanu i zachowania modelowanego obiektu złożonego nie są do końca określone,
 - występuje więcej niż jeden sposób opisu stanu i zachowania modelowanego obiektu złożonego lub jest kilka opcji realizacji jednego modelu.

2.1.1. Dane wyjściowe projektu w czasie analizy systemowej ESP

Warunkiem zapewnienia elastyczności systemu produkcyjnego jest stały organiczny związek prawie wszystkich elementów systemu produkcyjnego, co pokazuje analiza typowej struktury ESP. Tylko wzajemne powiązania i współzależności ukierunkowane na realizację wspólnego zadania wszystkich kierunków produkcji zapewniają możliwość ich realizacji w ESP. Warunkuje to konieczność pracy wszystkich systemów produkcyjnych w cyklu w celu realizacji wspólnego zadania.

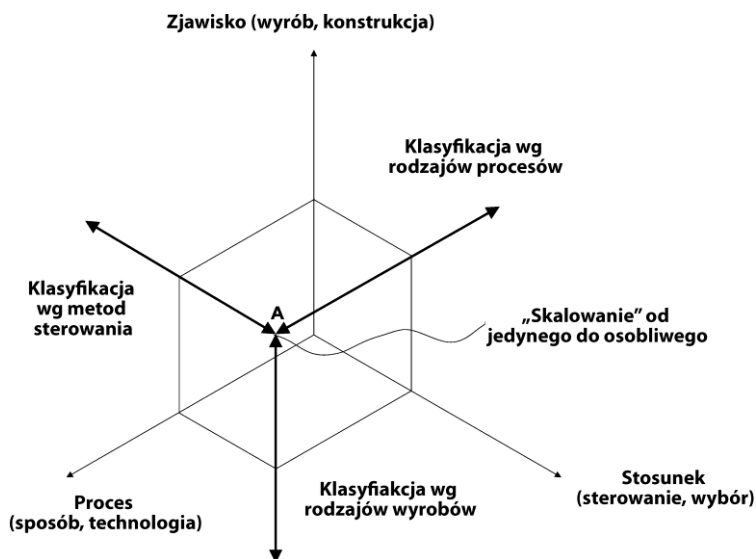
Umownie zostaną pokazane w postaci kropek na ograniczonym obszarze, dyscypliny określające i umożliwiające funkcjonowanie systemu produkcyjnego. W tym przypadku można w postaci graficznej przedstawić wspólne powiązania dyscypliny w produkcji organizowanej tradycyjnie i w warunkach elastycznego systemu produkcyjnego. Przykładowo, jako zbiór kropek usytuowanych w obszarze pewnej płaszczyzny, pokazane zostały dyscypliny na etapie kształtowania się wymagań. Tradycyjne podejście tych dyscyplin do obszaru realizacji przebiega równoległymi drogami o różnym stopniu doskonałości. Prowadzi to do konieczności wykonania dodatkowych prac w zakresie wspólnych powiązań w celu zapewnienia zgodności działań. W warunkach ESP jeden wspólny cel o orientacji czasowej jest określany już na samym początku, przy czym uzgadniany jest również stopień doskonałości, co pokazano na rys. 2.2.

W warunkach ESP „interesy” krzyżują się we wzajemnych działaniach, natomiast przy podejściu tradycyjnym użytkownik może samodzielnie uwzględnić wymagania tych dyscyplin. Tradycyjne podejście wymaga wykonania dodatkowych prac, a użytkownik jest zmuszony do podjęcia subiektywnych decyzji dotyczących organizacji opracowań kompleksowych. Można osiągnąć cel każdym z tych sposobów, jednak ponoszone przy tym koszty są różne. W warunkach ESP odbywa się to przez planowe opracowanie i konsekwentne osiągnięcie celu. Tradycyjne podejście powoduje powstanie nieproduktywnych iteracji (powtarzanie działań już zrealizowanych, metoda prób i błędów). Z tego powodu w metodologii ESP w sposób naturalny rozwiązano problem skuteczności pokrewnych podejść poprzez działania kompleksowe.



Rys. 2.2. Podejścia do realizacji produkcji oraz ich powiązania: a – w warunkach tradycyjnych, b – w warunkach ESP, A – obszar opracowania, B – obszar zastosowania, 1–10 (1'–10') – kierunki prac pokrewnych

Obowiązująca dokumentacja praktycznie nie odzwierciedla specyfiki analizy obiektu ESP związanej z relacjami pokrewnych podejść (rys. 2.2). Prowadzi to do konieczności podziału zadania na składniki i dalszej jego analizy z uwzględnieniem wszystkich powiązań między częściami. Takie podejście można realizować na bazie klasyfikacji technologicznej. Przestrzeń logiczna z cechami badanego obiektu – rozchodzącymi się kierunkami klasyfikacyjnymi jest odzwierciedlona na rys. 2.3. W „centrum” tworzą one nierozzerwalną jedność, a oddalenie od „centrum” skutkuje wyższym stopniem określenia cech. Przedstawione podejście umożliwia zastosowanie metod analizy i tworzenia struktury organizacji budowy ESP (tab. 2.2 i 2.3).



Rys. 2.3. Przestrzeń logiczna z kierunkami klasyfikującymi

Tab. 2.2. Struktura organizacji wdrożenia ESP

Rozdział obiektu technologicznego	Projekt technologiczny	Wykonawca zlecenia (zamówienia)	Kolejność			Rozwiązywane zadania
			Dostaw	Montażu	Oddania do użytkowania	
I	Proces technologiczny	Główna organizacja ds. standaryzacji	I	V	I	Dyscyplina technologiczna
II	Wypożyczenie	Kierownictwo głównego mechanika i energetyka	III	II	III	Remont zapobiegawczy i kapitalny
III	Pomieszczenia produkcyjne	Naczelny inżynier przedsiębiorstwa	II	I	VI	Zaopatrzenie inżynierskie
IV	Organizacja	Projektant ESP	IV	III	II	Zestaw DTR
V	Kierownik przedsiębiorstwa	Kierownik przedsiębiorstwa	VI	IV	V	Dobór, rozmieszczenie i szkolenie kadr
VI	Materiały	Kierownictwo zaopatrzeniem materiałowo-technicznym	V	VI	IV	Zaopatrzenie materiałowo-techniczne

Tab. 2.3. Charakterystyka wyposażenia ESP

Typ wy- robu	Para- metr podsta- wowy	Dosta- wy	Wyposażenie i aparatura kontrolno-pomiarowa operacji technologicznych				Liczba jednostek wyposa- żenia	War- tość, tys. UAH	Powie- rz- chnia, m ²	Liczba opera- torów
			1	2	...	N				
A	0,5	Krajowe	K W P E	--	...	K 120 4 2	2	134	26	4
		Z importu	-- --	K 75 12 1	...	-- --	1	75		
B	0,05	Krajowe	K 14 10 1	-- --	...	K 260 6 1	2	274	28	2
		Z importu	-- --	K 75 12 1	...	-- --	1	75		
C	0,005	Krajowe	-- --	-- --	...	-- --	-	-	53	1
		Z importu	K 45 15 -	K 250 27 -	...	K 660 II I	3	955		

***Uwaga.** K, W, P, E – charakterystyki jednostki wyposażenia: K – kod wyposażenia i aparatury kontrolno-pomiarowej, W – wartość, P – zajmowana powierzchnia; E – liczba operatorów personelu obsługującego.*

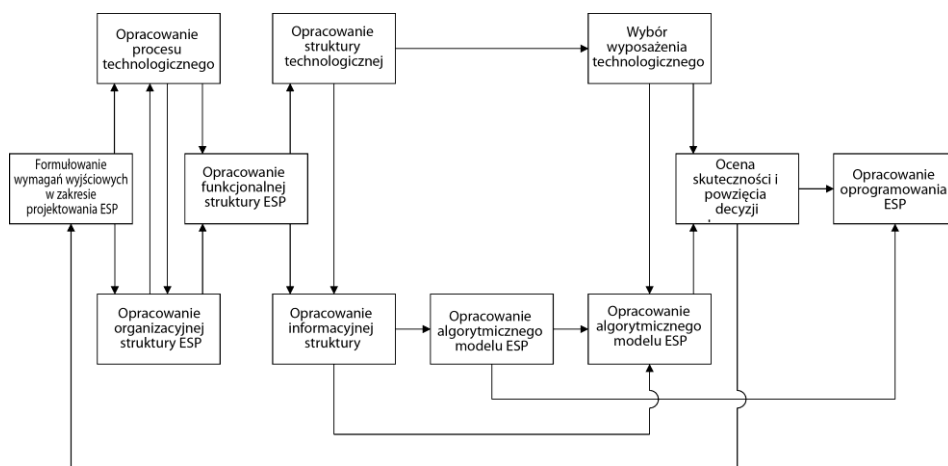
Na etapie początkowym w oparciu o strukturę organizacji można, bez ponoszenia dużych kosztów wstępnych, podjąć decyzję o zasadności wykonania opracowania, ponieważ w odróżnieniu od metodyk istniejących można opracować pełną przybliżoną charakterystykę obiektu, która w toku realizacji może być uszczegółowiana wg istniejących (obowiązujących) metodyk. Specyfika zautomatyzowanej produkcji jest odzwierciedlona przy pomocy schematu technologicznego przedstawionego w tab. 2 i 3. Na przykład mikromontaż można scharakteryzować następująco:

- obecność człowieka, jako ogniwa podstawowego procesu pracy jest niedopuszczalna, pozwala to na zapobieganie naruszeniom warunków procesu (pylistość, niezmiennosc temperatury),
- rodzaje produkcji charakteryzują się dużym zakresem precyzyjności „dawkowania”,
- ścisły podział na strefy: roboczą i serwisową,
- części są transportowane w sposób grupowy (w kasetach, paletach itd.),
- modułowa organizacja produkcji, uwarunkowana przez częstą zmianę środków technicznych procesu produkcji.

Każda produkcja w warunkach ESP powinna mieć liniowy jednokierunkowy schemat technologiczny i być rdzeniem organizacji wszystkich prac związanych z budową ESP niezależnie od obiektów produkcji oraz odtwarzać interakcję elementów systemu.

2.1.2. Systemowo-techniczna synteza ESP: kolejność prac

Podejście ogólnosystemowe do projektowania skomplikowanych systemów pokazuje, że koncepcja syntezy systemowo-technicznej opiera się na połączeniu procedur projektowania technologicznego oraz informacyjnego. Synteza systemowo-techniczna wymaga kolejności prac pokazanej na rys. 2.4.



Rys. 2.4. Kolejność prac w systemowo-technicznej syntezie ESP

Opracowanie struktury organizacyjnej – proces opracowania schematu ESP, odtwarzającego jego skład, hierarchię i wzajemne powiązania podsystemów. Jednocześnie z opracowaniem struktury organizacyjnej jest prowadzone opracowanie procesu technologicznego – zostaje określona kolejność operacji technologicznych, typ wyposażenia produkcyjnego, osprzętu technologicznego, narzędzi itd.

Opracowanie struktury funkcjonalnej – ogólna organizacja procesu technologicznego z uwzględnieniem transportu między operacjami w kompleksie z wyposażeniem informacyjno-sterującym, tzn. opracowanie schematu transportowo-technologicznego ESP.

Podstawowy cel tego etapu to wyodrębnienie potoków informacyjnych i materiałowych w systemie. Jest on osiągnięty przez analizę struktury organizacyjnej i danych o technologii, jak również przez dekompozycję ESP na elementy o strukturze funkcjonalnej oraz określenie hierarchii systemu sterowania

– wyodrębnienie systemu niższego poziomu (sterowanie operacjami technologicznymi) i systemów bardziej wysokiego poziomu (sterowanie elastycznymi modułami produkcyjnymi i ESP w całości).

Opracowanie struktury technologicznej i informacyjnej odbywa się na podstawie analizy strumieni materiałowych i informacyjnych przez opracowanie schematów obiegu strumieni materiałowego i informacyjnego, wykresów technologicznych i informacyjnych, tabeli itd.

Po wykonaniu tego etapu jest sporządzana tabela wyposażenia niezbędnego do realizacji międzyoperacyjnych operacji transportowych. W tej tabeli każdemu obiektowi modelu funkcjonalnego (wyposażenia produkcyjnego) odpowiada zestaw funkcji charakteryzujących transport i jego parametry (współczynniki początkowej i końcowej lokalizacji w przestrzeni, charakterystyki czasowe itd.).

W tabeli informacyjnej są przedstawione charakterystyki każdego związku: jego treść, forma udzielenia informacji, ilość, periodyczność, maksymalna szybkość transferu danych, pierwszeństwo itd.

Opracowanie algorytmicznego modelu ESP. W wyniku realizacji tego etapu powstaje opis algorytmu (schemat lub opis w języku wysokiego poziomu). Podstawowe wymaganie do modelu algorytmicznego to wymaganie modułowości, mówiące o tym, że ogólny algorytm funkcjonowania ESP jest zestawem niezależnych modułów algorytmicznych. Wymaganie to jest bardzo ważne, ponieważ umożliwia uzupełnienia modelu algorytmicznego o nowe bloki bez transformacji całego algorytmu.

Wybór wyposażenia technologicznego oraz informacyjnego. Ponieważ wykaz typów wyposażenia technologicznego i informacyjnego może być dość duży, to do jego wyboru dobrze jest zastosować komputer, przy jego pomocy można przeanalizować różne opcje. U podstaw analizy leżą wymagania odnośnie wyposażenia sformułowane na etapach opracowania struktury technologicznej oraz informacyjnej.

Ocena skuteczności. Na tym etapie należy pozyskać informacje o stopniu racjonalności wdrożenia struktury ESP. W toku projektowania systemu projektantowi są potrzebne metody pomocnicze, a przede wszystkim – takie, które umożliwiają prognozowanie skuteczności jeszcze nieistniejącego systemu.

2.2. Model proceduralny i podstawowe etapy projektowania ESP

Elastyczne systemy produkcyjne (ESP) jako obiekt projektowania obejmują procesy i techniczne środki ich realizacji. Cechą ESP jako obiektu projektowania jest konieczność dostosowania do urządzeń technicznych wielu procesów zachodzących sekwencyjnie lub równolegle. Procesy i narzędzia projektowania powinny umożliwiać rekonfigurację ESP. Głównym celem projektowania jest opracowanie ESP o strukturze umożliwiającej spójne działanie w określonych warunkach:

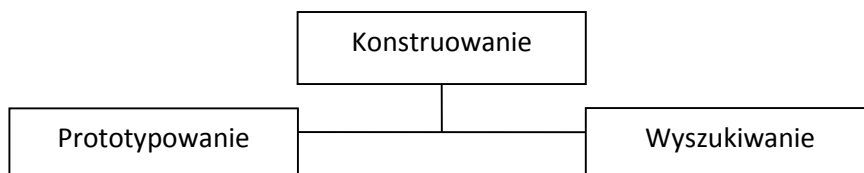
- podsystemu technologicznego, umożliwiającego przebieg i rekonfigurację wielu procesów przy wytwarzaniu określonego asortymentu wyrobów,
- podsystemu transportu i składowania, zapewniającego dostarczenie produktów oraz przekazywanie półwyrobów o określonym zakresie przetworzenia przez obszary robocze urządzeń technologicznych (manipulowanie, transport i magazynowanie),
- podsystemu sterowania, koordynującego wszystkie podsystemy, urządzenia i elementy ESP, a także ich powiązania z otoczeniem oraz diagnostykę ESP.

Utworzenie nowych technicznych systemów w działalności inżynierskiej człowieka odbywa się często przez:

- ciągłe ulepszanie stanu systemów technicznych,
- tworzenie nowych kombinacji elementów tych systemów metodami kombinatoryki.

Konstruując nowe wyroby, inżynierowie rozwiązują zadania o różnych poziomach trudności. Można wyróżnić dwa poziomy projektowania obiektów inżynierskich:

- prototypowanie,
- wyszukiwanie konstrukcji.



Rys. 2.5. Rodzaje metod projektowania urządzeń technicznych

Wynikiem wyszukiwania jest oryginalna struktura, uzyskana w wyniku zastosowania metod heurystycznych oraz technologii informacyjnych, np.: syntezy optymalizacyjnej, modelowania matematycznego. Wynikiem prototypowania jest obiekt techniczny utworzony ze standardowych elementów, który dostosowuje się do nowych warunków [2.25, 2.31].

Większość opracowań technicznych, nazywanych nowymi konstrukcjami, jest tworzona z nie stosowanych wcześniej kombinacji elementów, których zasady działania są od dawna znane. Jest to technologia syntezy strukturalnej, polegająca na wyszukiwaniu opcji zestawów, zawierających kombinacje elementów funkcjonalnych. Zastosowanie dodatkowych procedur konstruowania hierarchicznego w odniesieniu do elementów funkcjonalnych umożliwia podniesienie poziomu technicznego elementów struktury **do poziomu**

funkcjonalnych bloków i przeprowadzenie syntezy na wyższym poziomie hierarchicznym. W przypadku ESP są to maszyny i zespoły maszyn technologicznych w podsystemie. Każdy element, w tym przypadku, odpowiada całej klasie funkcjonalnie izomorficznych rozwiązań. Taka konsolidacja zmniejsza kilkakrotnie pracochłonność obliczeń i umożliwia skutecznie projektowanie optymalnego ESP.

Podstawowym problemem projektowaniu jest to, że należy utworzyć ESP jako złożony system techniczny, którego działanie jest opisane przez fizyczny proces, który łączy procesy technologiczne oraz transportu i magazynowania. Jest to trudne zadanie i często projektant może nie posiadać wystarczających kompetencji, aby wybrać najlepszy zestaw elementów funkcjonalnych na różnych poziomach hierarchii i zapewnić ich współpracę. Ważnym zagadnieniem jest więc zwiększenie efektywności decyzji projektowych w oparciu o analizę oraz przewidywanie skutków tych tendencji w prognozowanych strukturach ESP.

Podczas analizy ESP jest podzielony na kilka podsystemów, a te z kolei są podzielone na jeszcze mniejsze elementy, aż do momentu, kiedy będą one wystarczająco proste do badań i opisu matematycznego. Są one elementami opisu obiektu złożonego przy zastosowaniu informacyjnej procedury modelowania. Ponieważ dzielenie obiektów złożonych jest przeprowadzane przy zachowaniu zależności między wybranymi elementami, model matematyczny obiektu złożonego może być generowany z modeli matematycznych elementów składowych i powiązań pomiędzy nimi. W tym przypadku należy wziąć pod uwagę:

1. Dzielenie elementów złożonych ułatwia modelowanie obiektu, upraszcza opis elementów i relacji między nimi, i odwrotnie;
2. Opisany element może być częścią opisu i modelowania bardziej złożonych urządzeń technicznych.

Złożoność urządzeń technicznych wymaga opracowania modeli matematycznych, opisujących jedynie podstawowe parametry (wskaźniki ekonomiczne i techniczne). W matematycznym opisie elementów funkcjonalnych obiektu technicznego najistotniejsze są właściwości, które bezpośrednio wpływają na cechy ESP. Na wszystkich etapach modelowania (wyodrębniania prostszych elementów, określania ich związków i opisu matematycznego) wprowadzane są założenia upraszczające do obiektu. Model matematyczny obiektu powstaje w wyniku bezpośredniego powiązania modeli matematycznych elementów w całym systemie.

Procedura analizy ESP w procesie projektowania jest ściśle związana z procedurą jego syntezy, ponieważ obie mają na celu doprowadzenie do powstania optymalnego (wg niektórych kryteriów) rozwiązania projektowego ESP. W tradycyjnych metodach, powszechnie dotychczas stosowanych, projektant opracowuje rozwiązanie, sprawdza je zgodnie z określonymi kryteriami,

przyjmuje lub odrzuca w zależności od tego, czy odpowiada wybranym kryteriom, czy też nie. Działania te mają na celu opracowanie konkretnych rozwiązań i ich sprawdzanie, w tym przypadku, są prowadzone równoległe przez projektanta tak szybko i płynnie, że często są postrzegane jako jedno działanie. Podczas systematyzowania zastosowania technologii informacyjnych do projektowania systemów technicznych ważne jest odróżnienie procesów analizy i syntezy możliwych rozwiązań (rozkładu i generacji opcji) oraz procedury wyboru najlepszego rozwiązania (oceny, wyboru i optymalizacji).

Zadania systemowe w projektowaniu systemów technicznych mogą być dwójakiego rodzaju: analiza systemu i synteza systemu. Technologie analizy i syntezy są najczęściej wykorzystywane przy powstawaniu urządzeń technicznych. Zadanie analizy polega na ustaleniu właściwości systemu w oparciu o jego strukturę, natomiast problem syntezy – identyfikacji struktury systemu, na podstawie jego właściwości. Celem syntezy jest utworzenie nowej struktury o określonych (wymaganych) właściwościach, a analizy – badanie właściwości istniejącego układu [2,17].

Technologia analizy podczas projektowania nie tylko umożliwia rozwiązanie zadania, badania modelu zaprojektowanego obiektu, ale również pozwala na analizę zaprojektowanego układu prototypowego, jego rozkład i wyodrębnienie elementów, które mogą być stosowane w trakcie dalszej syntezy struktury.

Technologia syntezy (z gr. SYNTHESIS – montaż, połączenie) – to ustalenie interakcji i związków części w celu utworzenia obiektu jako całości. Technologia syntezy jest procesem powstawania struktury systemów technicznych (procesów lub obiektów) z określonego zestawu elementów. Przykładem prostej operacji syntezy może być operacja F_j :

$$F_j(x_1, x_2) = \langle y \rangle, \quad (2.1)$$

tworząca nowy element (strukturę) z dwóch elementów pierwotnych x_1, x_2 .

Rozróżnia się następujące rodzaje analizy i syntezy systemów:

- analiza funkcjonalna i synteza systemów,
- analiza strukturalna i synteza systemów.

Uwzględnia się je przy opracowaniu potrzeby procedury dekompozycji podczas realizacji etapów i procedury technologii analizy.

Można, więc stwierdzić, że podstawą procesu projektowania jest połączenie informacyjnych metod technologii dekompozycji i analizy systemów technicznych, technologii syntezy, a także technologii ich oceny oraz optymalizacji zbioru rozwiązań technicznych. Przy projektowaniu ESP analizę i syntezę można powtarzać kilka razy. Wyniki analizy umożliwiają zbadanie poszczególnych elementów oraz zachodzących w nich procesów. Jednocześnie, stosowanie syntezy umożliwia łączenie poszczególnych elementów oraz ich procesów

w ogólny proces fizyczny i ESP – w celu jego wykonania. Celem analizy jest opis zadania, przedstawienie modelu ESP, wyjaśnienie jakie zadania realizuje ESP (a nie jak wykonuje). Tworzenie ogólnego procesu fizycznego ESP jest projektowaniem funkcjonalnym, podczas gdy utworzenie ESP do wykonania tego procesu – projektowaniem strukturalnym (technicznym) lub konstruowaniem [2.17, 2.32].

Naukowcy odkryli, że w swojej twórczości człowiek nie tworzy całkowicie nowego pomysłu, nie może utworzyć czegoś, co jeszcze nie istnieje. Kreatywna osoba rzeczywiście tworzy nowe, nieodkryte jeszcze kombinacje istniejących pomysłów, procesów, obiektów materialnych na różnych poziomach opisu. Synteza całości, na podstawie różnych kombinacji elementów, jest najprostszą postacią projektowania.

W technice syntezą jest nazywana procedura projektowa, która prowadzi do łączenia różnych elementów w jedną całość – system (maszyna, urządzenie produkcyjne, etc.). Często tę część projektowania jest łatwo zautomatyzować. W syntezie skomplikowanych struktur n -częściowym schematem syntezy jest określany proces budowania struktur w wyniku stosowania po kolei tych samych stałych sekwencji procedur informacyjnych oraz operacji procesu projektowania F do skończonego zbioru n elementów należących do zbioru A , z których każdy może być częścią tego schematu syntezy. W procedurach i operacjach syntezy może uczestniczyć dowolna ustalona skończona liczba elementów zbioru A . Synteza obiektów technicznych jest istotną i integralną metodą projektowania nowych urządzeń i od tego, jak jest przeprowadzona zależy jakość projektu [2.14].

Synteza strukturalna obejmuje określanie składu poszczególnych elementów tworzących układ obiektów technicznych i powiązań między nimi. Istotą syntezy strukturalnej jest uzyskanie układu, który powinien mieć pożądane właściwości. Wynikiem syntezy konstrukcyjnej są różne wersje struktur technicznych. W procesie syntezy strukturalnej zostają określone: zestaw elementów, powiązania i połączenia pomiędzy nimi, właściwości elementów i związków, wartości uogólnionych kryteriów pracy. Zadania syntezy to:

- tworzenie nowego systemu, opartego na osiągnięciach nauki i technologii,
- ulepszenie istniejącego systemu w oparciu o stwierdzone niedociągnięcia, nowe wyzwania i wymagania.

Zadanie zaprojektowania ESP można podsumować w następujący sposób. W ESP jest obrabianych kilka typów wyrobów. Stanowiska robocze powinny zapewnić pełny cykl produkcyjny. Dostępne są dane o rysunkach, magazynach, programie produkcyjnym i czasie wytwarzania produktów, a także katalogach sprzętu i narzędziach do wykonywania operacji oraz powierzchni zajmowanej przez ESP.

Należy określić:

- maszyny technologiczne,
- przyporządkowanie operacji do stanowisk roboczych,
- kolejność i sposoby wykonywania operacji.

Cele powinny być osiągnane tak, aby zminimalizować koszty wszystkich procesów, w określonych warunkach.

Relacja między strukturą i funkcją – jest jedną z najstarszych. Arystoteles zadał pytanie „dlaczego istnieje organ?” (w odniesieniu do systemu biologicznego), na które odpowiedział: „do realizacji określonego celu” czyli funkcji. Biorąc pod uwagę strukturę i funkcję, pierwszeństwo należy przypisać zmianom funkcji. Tradycyjna technologia projektowania z zasady nie może poradzić sobie z rosnącą złożonością projektowanych obiektów technicznych. Obiekt techniczny umiarkowanie złożony łączy oba typy systemów: procesów fizyczne, zawierające w sobie elementy procesów oraz zestaw środków technicznych do ich realizacji stanowiących elementy obiektów systemowych.

Opis systemu technicznego może mieć aspekt funkcjonalny, ponieważ odzwierciedla procesy fizyczne lub informacyjne, występujące w projektowanym obiekcie lub aspekt strukturalny, jeśli opis zawiera tylko strukturalne (w szczególnym przypadku geometryczne) właściwości projektowanego obiektu. Opisy te stanowią funkcjonalne i strukturalne modele systemu technicznego. Powszechnym sposobem budowania tych modeli, jak większości skomplikowanych obiektów, jest podział obiektu na jednostki, z których każda jest dość prosta, aby zbudować model. Przez połączenie opisu modeli poszczególnych jednostek, można otrzymać zależności opisujące układ i funkcjonowanie systemów technicznych bardziej złożonych. Ponieważ każdy obiekt złożony (projektowany lub badany) można podzielić na różne sposoby, to informacyjna procedura dekompozycji (rozkładu) jest niezwykle istotna przy jego analizie.

Istotną cechą tej metody jest to, że każdy z wyodrębnionych, podczas rozkładu systemu, podsystem charakteryzuje się określoną funkcjonalnością. Przy projektowaniu systemu zadaniem syntezy jest wyodrębnienie rozwiązania konstrukcyjnego (opisu) według określonych wymagań i charakterystyk przy uwzględnieniu ograniczeń. Synteza pozwala na łączenie obiektów oraz ustalenie ich związków i opis obiektu jako całości.

Analiza problemów dekompozycji, analizy i syntezy systemów technicznych, pokazuje, że główne trudności związane są z łączeniem elementów przyszłego projektu. Trudności te rosną wykładniczo wraz ze wzrostem rozmiaru systemu technicznego, tj. liczby jego elementów i parametrów oraz relacji między nimi. Rzeczywiście, w trakcie analizy, system techniczny jest podzielony na kilka podsystemów, a te z kolei są podzielone na mniejsze elementy, aż do momentu, kiedy będą one wystarczająco proste do obsługi. Są one elementami opisu układu złożonych systemów technicznych. Każdy złożony system techniczny, może więc

być zrealizowany w oparciu o różne struktury. W związku z tym, już na początkowym etapie projektowania systemów technicznych, powstaje problem syntezy, przy określonych zasobach, optymalnej struktury maksymalizującej kryterium jakości. Przy wyborze struktury należy uwzględnić, że:

1. Po pierwsze, w przypadku braku ograniczeń, nie można zwiększyć jakości projektu w wyniku zwiększenia liczby poziomów hierarchicznych.
2. Po drugie, jest konieczne ograniczenie liczby podsystemów na każdym poziomie projektowania.

Rozwój zaawansowanych technologii CAD do projektowania urządzeń technologicznych przebiega w kierunku zastosowania funkcji inteligentnych. W najbardziej ogólnym ujęciu, inteligentny system projektowania zawiera bazę wiedzy i bazy danych.

Zwiększenie inteligencji projektowania systemów może być uzyskiwane w wyniku zastosowania [2.25]:

- programowania heurystycznego,
- systemów eksperckich,
- hierarchicznych modeli matematycznych na wszystkich poziomach projektowania.

Projektowanie ESP na tym etapie rozwoju nie jest możliwe bez szerokiego zastosowania technologii informacyjnych na podstawie podejścia systemowego. Obecną tendencją jest zrozumienie i synteza doświadczeń z projektowania ESP w różnych dziedzinach. Prowadzone są intensywne prace w celu określenia konkretnych podejść systemowych przy projektowaniu ESP do produkcji opakowań oraz zastosowania metodologii optymalizacji syntezy układów ESP.

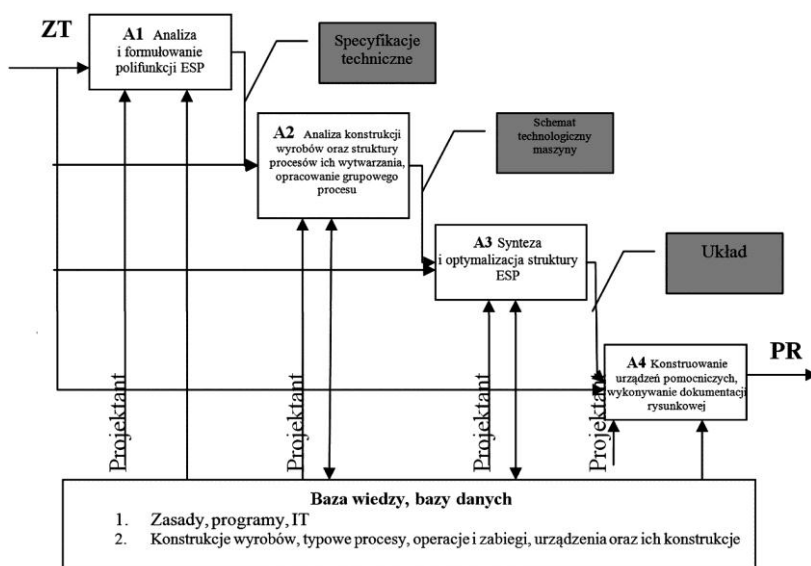
ESP jako obiekt projektowania ma wiele cech, takich jak:

- duża liczba elementów heterogenicznych (funkcje i obiekty) oraz relacji między nimi,
- złożony obiekt funkcjonowania – ESP musi posiadać możliwości dostosowania się do opakowań przystosowanych do różnych produktów w różnych warunkach roboczych,
- stochastyczna natura oddziaływań podzespołów i elementów struktury systemu i otoczenia.

Przy projektowaniu ESP jako skomplikowanego systemu technicznego można wyodrębnić kilka etapów [2.25] (rys. 2.6).

1. **Pierwszy etap A1** – definiowanie przeznaczenia ESP, jego funkcji użyteczności, opracowanie zadania technicznego, tj. specyfikacji polifunkcji ESP oraz jego wskaźników technicznych.

2. **Drugi etap A2** – funkcjonalne projektowanie ESP. Głównym jego zadaniem jest opracowanie procesu grupowego odpowiedniego do wytwarzania produktów określonego zakresu, jak również podział procesów na operacje i przypisanie ich do stanowisk pracy.
3. **Trzeci etap A3** – projektowanie konstrukcji (układu) ESP, czyli syntezy oraz optymalizacja struktury ESP.
4. **Czwarty A4 etap** – wyodrębnienie rozwiązań konstruktywnych ESP, tj. zdefiniowane struktury i zestawu elementów składowych.



Rys. 2.6. Diagram CAD ESP

Po etapach projektowania funkcjonalnego i strukturalnego po podjęciu decyzji o przejściu do następnego etapu, należy rozwiązać dwa problemy:

- opisać zbiór dopuszczalnych decyzji i funkcję celu (argumentami, które warianty decyzji są dopuszczalne, a wartościami – liczby opisujące osiągnięcie postawionego celu) – matematyczne przedstawienie zadania optymalizacji;
- określić maksimum funkcji celu i sposób jego uzyskania.

Mała ilość informacji na początkowych etapach projektowania ESP wymaga poszukiwania modeli ESP, umożliwiających optymalizację przy minimum informacji początkowej. Takim modelem jest struktura ESP wraz ze wszystkimi powiązaniem.

ESP należy rozpatrywać jako złożony system w dwóch aspektach: funkcjonalnym i strukturalnym.

Aspekt funkcjonalny określa zakres funkcji, które powinny zostać wykonane przez ESP. W wyniku projektowania funkcjonalnego określone są problemy rozwiązywane za pomocą środków technicznych (tj. struktura funkcjonalna procesu).

Aspekt strukturalny zawiera identyfikację sprzętu ESP. Jest to projektowanie strukturalne lub techniczne. Zapewnia ono syntezę struktury ESP, jej analizę i optymalizację.

Charakterystyczną właściwością początkowego etapu projektowania jest ograniczoność informacji. Początkowe dane zawierają opis funkcji ESP, ogólne wymagania dotyczące jego charakterystyk, a także ogólny opis zasady jego działania.

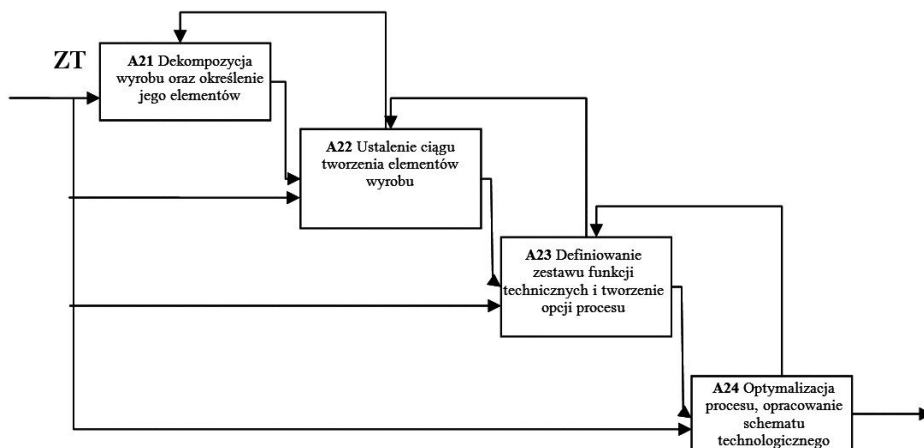
W takich warunkach proces projektowania zaczyna się od etapu analizy funkcjonalnej ESP, a więc w pierwszej kolejności należy uwzględnić jej dekompozycję i opracować strukturę schematu funkcjonalnego. Podstawą do opracowania takiego schematu jest proces, który ma być zrealizowany w ESP.

Taki opis zakłada rozwiązanie zadania racjonalnego podziału całokształtu funkcji, realizowanego w ESP, pomiędzy poszczególne funkcjonalne części systemu. W celu ewidencji wzajemnego wpływu podsystemów ich kształtowanie powinno być zgodne z następującą zasadą główną: podsystem musi być funkcjonalnie niezależny, czyli musi mieć możliwość realizacji przypisanych mu zadań, mieć zewnętrzne wejścia i wyjścia. Takie podejście do kształtowania podsystemów funkcjonalnych powoduje, że w dużej mierze są one autonomiczne, co w istotny sposób upraszcza opracowanie nie tylko funkcjonalnej części ESP, ale również syntezę jego struktury.

Podczas projektowania funkcjonalnego prowadzona jest synteza optymalizacyjna procesu, wraz z opracowaniem schematu poglądowego oraz technologicznego.

Funkcjonalny aspekt projektowania – to określenie zbioru funkcji ESP, realizujących jego służbowe przeznaczenie [2.24, 2.26].

Projektowanie funkcjonalne rozpoczyna się od analizy struktury produktu. Produkt jest kombinacją elementów i połączeń między nimi, podobnie jak w przypadku oddzielnych części – połączeniem powierzchni lub elementów konstrukcyjnych kilku powierzchni oraz geometrycznych relacji między nimi (Blok A21).

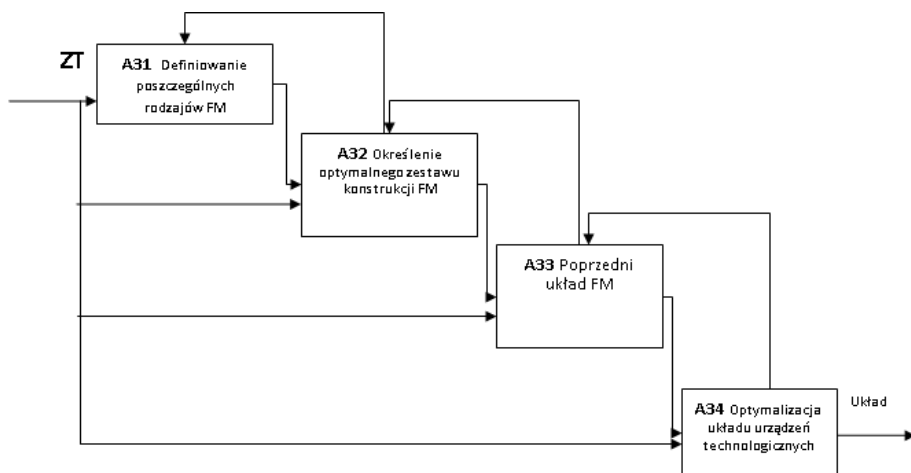


Rys. 2.7. Diagram projektowania funkcjonalnego A2

Zgodnie z przeznaczeniem funkcje, realizowane przez ESP zostaną rozdzielone, na dwa rodzaje: technologiczne i pomocnicze. Do technologicznych odnosi się funkcje, realizujące określony technologiczny proces oraz techniczną kontrolę stanu wyrobu, a do pomocniczych – przemieszczanie i magazynowanie wyrobów, techniczną kontrolę stanu ESP, podsystem usuwania odpadów itd.

Funkcje te są powiązane wzajemnie, dlatego też konkretna decyzja funkcjonalna na podstawie jednej z nich określa wymagania w stosunku do innych. Funkcjonalny opis ESP jest podstawą do kształtowania układu ESP.

Aspekt strukturalny projektowania – utworzenie ESP jako zestawu modułów funkcjonalnych (maszyn technologicznych albo urządzeń) o różnym przeznaczeniu funkcjonalnym: obróbki części, ich łączenia, hermetyzacji, kontroli, magazynowania, transportowania, mycia i suszenia itp. Każdy z tych modułów, zależnie od złożoności realizowanych funkcji, może być maszyną lub mechanizmem. Dodatkowy moduł funkcjonalny – to różne urządzenia, zapewniające automatyczne i autonomiczne funkcjonowanie ESP i jego składowych – urządzenia kontroli, automatycznego załadunku, automatycznego usuwania wyrobów itd.).



Rys. 2.8. Diagram syntezy optymalizacji funkcjonalno-modułowej struktury urządzeń technologicznych A3

Opracowanie struktury ESP na poziomie modułów funkcjonalnych polega na integracji FM oraz określenia powiązań materiałowych, energetycznych i informacyjnych między modułami.

W rzeczywistości, na tym etapie projektowania jest prowadzona synteza i optymalizacja budowy funkcjonalno-modułowej urządzeń technologicznych (rys. 2.11). Etap ten jest złożonym zadaniem obejmującym transformację funkcjonalnego modelu procesu w zestaw elementów konstrukcyjnych, między którymi występują odpowiednie relacje przestrzenne i funkcjonalne. Niedoskonałości w konstrukcji maszyny stawiają problem określenia rozwiązania optymalnego, umożliwiającego uzyskanie najwyższej wydajności. Projektowanie strukturalne polega na określeniu możliwych kombinacji FM maszyn technologicznych, zbioru konfiguracji, ich ocenie i wyborze najlepszych.

Priorytetowym zadaniem konstruowania jest podzielenie procesu pomiędzy FM (A31).

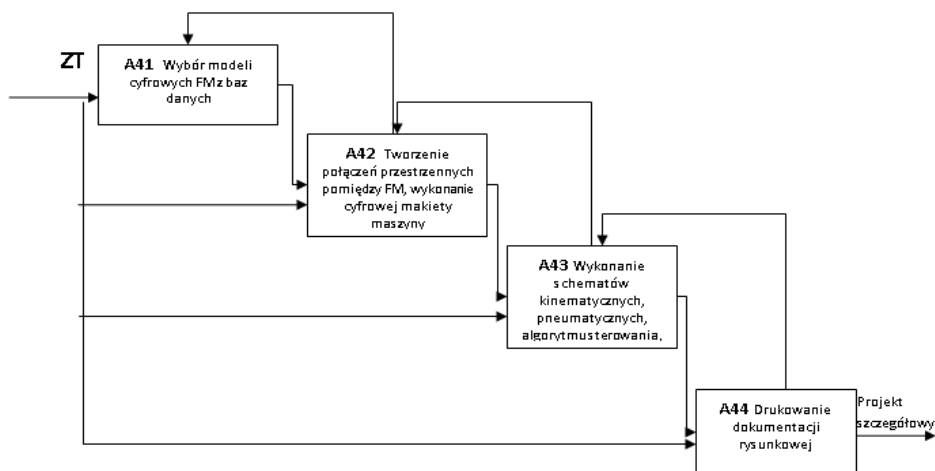
Zadanie uzyskania optymalnego zestawu FM (A32) jest bardzo trudne i do dzisiaj jest niewystarczająco poznane.

Konstruowanie i opracowanie szczegółowego projektu (Blok A4)

Konstruowanie jest etapem zamykającym cykl projektowania urządzeń technologicznych i kończący się wykonaniem dokumentacji projektowej do produkcji i eksploatacji.

Przez konstruowanie rozumie się proces opracowania wirtualnego pierwowzoru, prototypu przyszłego obiektu technicznego. Ważnym problemem, który pojawia się w tym przypadku jest potrzeba tworzenia banków cyfrowych modeli typowych FM przy zachowaniu poziomu szczegółowości aż do

poszczególnych części. Niezbędne do określania jakości układu jest także opracowanie układu regulującego połączenie modeli cyfrowych FM w ogólnym modelu sprzętu technologicznego. Proces projektowania wirtualnego polega na użyciu wybranych opcji cyfrowych modeli FM w celu uzyskania wariantu struktur urządzeń technologicznych w postaci tradycyjnej (A41).



Rys. 2.9. Diagram procedur konstruowania i opracowania projektu szczegółowego

Modele układów urządzeń technologicznych różnią się szczegółowością FM i relacjami między nimi. Niektóre modyfikacje układów maszyny różnią się rodzajem FM, ilością i dostępnością wspomagających FM.

2.3. Zasady budowy i formalizacja procesu automatyzowanego projektowania ESP

ESP są budowane według zasady modułowej. Sprzęt technologiczny może być rozmieszczony według schematów: liniowego, narożnego, kulistego i kombinowanego. Wybór schematu wynika z:

- właściwości technologicznych procesu,
- rozkładu głównego sprzętu i robotów przemysłowych (RP),
- sposobu przemieszczania obrabianych przedmiotów między głównymi urządzeniami technologicznym, a także załadowniczymi oraz transportowo-orientującymi,
- rozmieszczenia zapasów międzyoperacyjnych i układów transportowych.

2.3.1. Budowa CAD ESP

Opracowanie teorii projektowania, która stworzyłaby możliwości do automatyzacji procesu projektowania z użyciem techniki obliczeniowej, znajduje się jeszcze w fazie początkowej. Z tego powodu automatyzacja prac projektowych jest prowadzona w sposób spontaniczny. Zautomatyzowane są głównie operacje kreślarskie i obliczeniowe, związane z konstruowaniem. Jednocześnie problemy wyboru najbardziej racjonalnych rozwiązań technologicznych i konstruktorskich nie są jak dotychczas rozwiązywane w sposób zautomatyzowany.

Celem automatyzacji projektowania jest podwyższenie jakości projektów, obniżenie kosztów materiałowych, skrócenie terminów projektowania, podwyższenie wydajności pracy projektantów. Centralnym zadaniem w budowie systemów CAD jest opracowanie nowej technologii projektowania, która umożliwiałaby już na najwcześniejszych etapach projektowania, dość poprawnie wybrać główne parametry konstrukcji i ocenić różne charakterystyki jej efektywności. W ciągu całego procesu projektowania powinna umożliwiać kontrolowanie przemiany tych charakterystyk w taki sposób, aby uzyskać konstrukcję niewymagającą już korekt. Teoretyczne podstawy projektowania optymalnego obiektów technicznych (metody naukowo uzasadnione), powinny umożliwiać według danych wejściowych, określenie możliwych wariantów technicznych, przeprowadzenie ich analizy porównawczej i wariantu optymalnego. Należy więc koniecznie zastosować metodę syntezy obiektu technicznego, która umożliwi określenie wariantów technicznych oraz wybór wariantu najlepiej odpowiadającego określonym warunkom.

Metody syntezy można podzielić na: metody syntezy pełnej albo morfologicznej umożliwiającej uzyskanie możliwych wariantów struktur i metody syntezy z ograniczoną liczbą wariantów struktur, czyli [2.17, 2.16]:

- synteza pełna lub morfologiczna, na bazie metod matematycznych kombinatoryki,
- metoda syntezy z ograniczeniem zbioru wariantów na podstawie typowych matematycznych modeli generacji dopuszczalnych struktur,
- metoda budowy drzewa syntezy z ograniczeniem zbioru wariantów struktur przy zastosowaniu drzewa "AND-OR",
- synteza heurystyczna.

Technologia kombinatorycznej syntezy systemów technicznych z ich części (podsystemów, funkcjonalnych elementów) jest ważnym praktycznym kierunkiem w rozwoju techniki projektowania. W ostatnich latach znaczenie podejścia kombinatorycznego gwałtownie rośnie, ponieważ w wielu dziedzinach są utworzone i tworzone biblioteki i katalogi elementów składowych, również dane o możliwych elementach systemu technicznego można uzyskać z Internetu lub zamówić w przedsiębiorstwach-producentach.

Ponieważ synteza jest rozpatrywana jako proces tworzenia struktury ze zbioru określonych elementów, to można do jej realizacji zastosować metody kombinatoryczne, bazujące na idei przeglądu zmiennych, którymi mogą być obiekty, procesy, znaki itd. Projektowanie kombinatoryczne odbywa się przy zastosowaniu teorii zbiorów. Do odzwierciedlenia skomplikowanych systemów i procesów, najbardziej ogólnymi, formalnymi pojęciami są: zbiór, elementy zbioru i relacje zbiorów [2.8, 2.21]. Skomplikowany system można przedstawić jako całość różnorodnych zbiorów oraz relacji między nimi.

Złożonym zadaniem przy projektowaniu jest problem poszukiwania, wśród możliwych wariantów rozwiązań technicznych, tych kombinacji elementów systemu technicznego, które najlepiej spełniają wymagania zadania technicznego [2.3, 2.12]. Metody oceny wskaźników jakości systemów technicznych, otrzymanych w wyniku syntezy, umożliwiają z ogromnej ilości rozwiązań technicznych, wybrać najlepsze z punktu widzenia warunków zadania. W większości przypadków przyjęte rozwiązanie nie jest jedynym dopuszczalnym, ponieważ warunki zadania charakteryzują się określoną niejednoznacznością.

Jak wiadomo, optymalizacja polega na poszukiwaniu optimum funkcji celu. Badany zbiór przestawień może różnić się od całego obszaru przestawień. Taki sam wynik może być osiągnięty różnymi sposobami istotnie się od siebie różniącymi, zarówno kosztem jak i czasem wykonania. Zadanie projektowania polega na znajdowaniu optymalnego sposobu poszukiwania najlepszego rozwiązania. Procedurę optymalizacji można przeprowadzać na dwa sposoby [2.13, 2.30]:

1. Poszukiwanie jedyne go optymalnego rozwiązania technicznego przy określonych warunkach.
2. Zawężenie zbioru rozwiązań technicznych do rozwiązań racjonalnych, które są następnie badane i ocenione przez specjalistów.

Przy rozwiązaniu pierwszego i drugiego zadania mogą być zastosowane metody matematyczne optymalizacji strukturalnej i metody heurystyki.

Efektywność projektowania systemu jest rozpatrywana jako miara stopnia osiągnięcia celu. Ostateczna decyzja jest podejmowana w oparciu o zbiór rozwiązań przy zastosowaniu zasady nazywanej kryterium (miarą) wyboru decyzji.

Przy użyciu zasady brutalnej siły jest badany cały obszar przestawień elementów początkowych i są porównywane szacunkowe koszty sumaryczne każdego przestawienia. Ze wzrostem liczby elementów w systemie gwałtownie rośnie liczba możliwych przestawień ($n!$), a więc proporcjonalnie rośnie także czas oceny każdego z nich. Taki sposób optymalizacji systemów technicznych o dużej liczbie elementów w zasadzie nie jest możliwy.

W praktyce, badania są ograniczane tylko do niektórych kombinacji. Przy użyciu heurystycznych algorytmów bada się tylko część obszaru permutacji. W wyniku doboru pozostają tylko te warianty, które w porównaniu z poprzednią iteracją mają mniejszą wartość funkcji optymalizacji, na przykład kosztu.

Zadanie poszukiwania racjonalnych rozwiązań technicznych może być rozwiązane przy zastosowaniu metod matematycznych optymalizacji (pełne przeszukiwanie wariantów na zbiorze decyzji lub ukierunkowane przeszukiwanie ograniczonej ilości wariantów), a także metod heurystycznych eliminujących niewłaściwe rozwiązania i zmniejszających zbiór dopuszczalnych wariantów rozwiązań technicznych w każdym kroku poszukiwaniem odpowiedniego systemu technicznego.

Procedura optymalizacji syntezy umożliwia syntezę decyzji projektowej oraz ocenę charakterystyk. Optymalizacja może być związana z syntezą parametryczną, czyli z wyznaczeniem optymalnych wartości parametrów przy określonej strukturze obiektu lub z wyborem optymalnej struktury. W pierwszym wypadku jest to optymalizacja parametryczna, w drugim – optymalizacja strukturalna. Zadanie określania lepszego rozwiązania technicznego w zbiorze systemów technicznych, otrzymanych w wyniku syntezy, można podzielić na dwie grupy:

1. Przy określonej strukturze systemu technicznego należy określić parametry jego elementów tak, by system był optymalny według określonego kryterium – synteza parametryczna. Podczas jej przeprowadzania układ systemu technicznego jest niezmienny, zmieniają się tylko parametry elementów i ich powiązań. Poszukiwanie optymalnego wariantu technicznego systemu jest realizowane w obszarze parametrów, przy czym miarowość wektora parametrów nie ulega zmianie.
2. Dobrać strukturę systemu technicznego w taki sposób, by były określone jego niezbędne elementy i powiązania między nimi, jak również parametry elementów i związków struktury tak, by możliwie maksymalnie ograniczyć liczbę elementów, w tym jego koszt. Przy syntezie strukturalno-parametrycznej układ systemu technicznego jest odpowiednio kształtowany. Podczas wykonania procedury, zmianie ulegają jego struktura i parametry. Poszukiwanie opcji jest realizowane w obszarze struktur i parametrów systemu technicznego, przy czym miarowość wektora parametrów wcześniej nie jest znana i może być określona dopiero po wyborze struktury.

Podczas syntezy parametrycznej struktura obiektu pozostaje niezmienna, natomiast w trakcie syntezy strukturalno-parametrycznej zmianie ulegają parametry obiektu oraz jego układ. Ponieważ systemy i obiekty na określonym poziomie analizy posiadają strukturę początkową, a elementy strukturalne charakteryzowane są przez odpowiednie parametry, to praktycznie zadanie projektowania może być rozpatrywane jako synteza strukturalno-parametryczna.

Synteza strukturalno-parametryczna – to proces, w wyniku którego jest określana struktura systemu technicznego i wartości parametrów składowych jej elementów oraz wzajemnych relacji w taki sposób, aby spełniać warunki syntezy, czyli zadania technicznego. Jeżeli przy tym zsyntetyzowany obiekt jest, według jakiegokolwiek kryterium lub kryteriów, optymalny, to jest to synteza optymalizacyjna.

Procedura projektowania zawiera dekompozycję funkcji celu na poszczególne funkcje techniczne o wzajemnym powiązaniu (obszarowym, czasowym, rodzajowym). Z otrzymanego zbioru struktur fizycznego procesu na podstawie pewnych kryteriów oceny jest wyodrębniana określona struktura fizycznego procesu F . Zatem jest tworzony zbiór pośredni $F \times M$, którego elementy stanowią krotkę $\langle f_j, m_k \rangle$. Na tym etapie jest wyznaczana przestrzenna strefa realizacji każdej funkcji i rodzaj elementu funkcjonalnego. W wyniku tej procedury powstaje schemat przestrzenno-strukturalny systemu technicznego.

Każdy rodzaj elementu funkcjonalnego obejmuje wiele wariantów konstrukcyjnych m_k , co umożliwia wygenerowanie ze zbiorów typów konstrukcji funkcjonalnych elementów wariantów struktury systemu technicznego, ich ocenę i określenie optymalnej, według określonych, kryteriów jakości.

Cały proces zautomatyzowanego projektowania składa się z etapów projektowania [2.11]:

$$P = \{E_1, E_2, \dots, E_N\} \quad (2.2)$$

Na każdym etapie projektowania model projektowanego obiektu M_i jest przekształcany do nowego stanu:

$$E_1 : M_1 \rightarrow M_2; \quad E_2 : M_2 \rightarrow M_3; \quad \dots \quad E_N : M_N \rightarrow M_{N+1} \quad (2.3)$$

Każdy etap projektowania jest realizowany przy wykorzystaniu trzech zbiorów: zbioru modeli M , zbioru procedur nad modelami ZP i zbioru kryteriów projektowania K :

$$E_j = \langle P_j, M_j, K_j \rangle \quad (2.4)$$

Zbiór modeli M zawiera różne ze względu na stopień ich realizacji modele projektowanych ESPC, a mianowicie:

- strukturalne modele wyrobu,
- funkcjonalne modele grupowego procesu ESP, które umożliwiają utworzenie schematu technologicznego, podstawowego schematu funkcjonowania oraz algorytmu sterowania ESP,
- strukturalne modele ESP (układy ESP), po określeniu wariantu optymalnego są przedstawiane w postaci modeli cyfrowych lub makiet, a następnie – rysunków roboczych, a potem – wzorców badawczych.

Analogiczny zakres pojęć definiuje się w odniesieniu do zbiorów K i ZP . Jeśli M_{ZP} , przedstawiający projektową dokumentację techniczną, odpowiada wymogom projektu K_{ZP} , to proces projektowania kończy się opracowaniem dokumentacji technicznej.

Przy realizacji procedury projektowej muszą być spełniane warunki:

$$\forall M_j \in M \exists ZP_j : M_j \rightarrow M_{j+1}, \quad (2.5)$$

gdzie: $M_j \subset M_{j+1}$, $K_j \subset K_{j+1}$, $O_j \subset O_{j+1}$, $j \in [0, n]$.

Iteracyjny proces współdziałania M , K i O składa się z cykli, które powtarzają się na każdym etapie projektowania podczas wykonania typowych procedur projektowych. Każda procedura $ZP_i \in ZP$ zajmuje określone miejsce w cyklu projektowania. Określone są dane wejściowe, natomiast na wyjściu – wynik projektowania w postaci dokumentacji projektowej (uzyskanej w rezultacie realizacji projektu) albo informacja wejściowa do kolejnego etapu projektowania.

Zbiór procedur procesu projektowania można przedstawić w postaci macierzy blokowej [2.16]:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{15} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{41} & P_{42} & \dots & P_{45} \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

gdzie: liczba wierszy odpowiada wariantom elastyczności, określonym funkcjom celu ESP, a liczba kolumn – etapom projektowania (określenie funkcji celu – ZT , projektowanie funkcjonalne – budowa modelu funkcjonalnego, opracowanie algorytmu funkcjonowania maszyny, opracowanie zasadniczych schematów maszyn, synteza strukturalna układu ESP, opracowanie modelu cyfrowego ESP, opracowanie dokumentacji roboczej).

Regułę wprowadzenia stosunków pierwszeństwa $Q=\{q_{ij}\}$ w przypadku projektowych procedur można zapisać jako:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{gdy } P_i \text{ poprzedza } P_j, \\ -1, & \text{gdy } P_i \text{ jest po } P_j, \\ 0, & \text{gdy } i \neq j. \end{cases} \quad (2.7)$$

W celu wyodrębnienia procedur projektowych syntezy podlegających automatyzacji, można zastosować następujące podejście. Niech każda projektowa procedura syntezy $P_i \in P$ polega na przyłączeniu do ESP albo do maszyny wybranego z istniejących albo zbudowanego „nowego” modułu funkcjonalnego odpowiedniego poziomu hierarchicznemu FM_i , który wykonuje wszystkie albo część operacji procesu. Założenie to można zapisać w postaci:

$$\forall P_i \in P \exists \Phi M_j \in \Phi M : M_{i-1} \rightarrow M_i \quad (2.8)$$

Niech każda projektowa procedura syntezy $P_i \in P$ polega na przyłączeniu do j -go stanowiska roboczego ESP gotowej albo od nowa utworzonej maszyny technologicznej TM_{jk} typu k -go, na której są wykonywane wszystkie albo część zabiegów operacji grupowej. To założenie można zapisać w postaci:

$$\forall P_i \in P \exists TM_{jk} \in TM : M_{i-1} \rightarrow M_i \quad (2.9)$$

Macierz układów ESP na poziomie poszczególnych TM można zapisać w postaci:

$$ESP = \begin{pmatrix} TM_{11} & TM_{12} & \dots & TM_{1M} \\ TM_{21} & TM_{22} & \dots & TM_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ TM_{m_11} & TM_{m_12} & \dots & TM_{m_1M} \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

gdzie: liczba kolumn odpowiada liczbie stanowisk roboczych z grupowymi operacjami technologicznymi, a liczba wierszy – liczbie wariantów konstruktywnych TM :

$$TM_{j_k} \in TM (j=1, 2, \dots, M; k_j=1, 2, \dots, m_j) \quad (2.11)$$

Wykonanie na stanowisku roboczym pełnego zbioru operacji technologicznych jest możliwe w wyniku wprowadzenia nadmiarowości technologicznej, czyli podwyższenia uniwersalności k -go typu technologicznej maszyny oraz stosowaniem kilku maszyn technologicznych do wykonania jednej grupowej operacji technologicznej różnych wyrobów.

2.3.2. Formalizacja funkcjonalnego projektowania ESP – projektowanie procesu

Jako podstawę metody sformalizowanego odzwierciedlenia procesów funkcjonalnego projektowania ESP przyjmuje się model jednostki strukturalnej procesu – operacji technologicznej (TO). Model procesu ESP – to stosunkowo samodzielny fragment procesu, w przypadku, którego jest określone wejście, wyjście, operator przekształcenia, zasoby i środki [2.23].

Morfologiczny opis technologicznego procesu jest zbiorem:

$$TPO = \{x, R, y, Q, s\}, \quad (2.12)$$

gdzie: x – wektor wejścia składający się ze zbioru komponentów wejścia $\{x_i\}$,
 $i=1, n$,
 R – operator przekształcenia charakteryzujący się zestawem działań $\{R_k\}; k=1, k; k=1, k$,
 w – wektor wyjścia składający się ze zbioru komponentów wyjścia $\{y_j\}$;
 $j=1, m$,
 Q – zasoby, konieczne dla realizacji procesu,
 s – środki projektowania, wykorzystywane przy realizacji procesu technologicznego.

Zakłada się, że istnieje pewien zbiór operacji technologicznych $\{TO_i\}$, z których jest syntetyzowany proces:

$$\{TO_i\}, i = 1, N \quad (2.12)$$

2.3.3. Formalizacja strukturalnego projektowania ESP

Przeprowadzając analizę strukturalną ESP i jego podsystemów, konieczne należy dysponować metodyką, umożliwiającą określenie określonych charakterystyk strukturalnych systemów i ich oceny ilościowej.

Jakościowa ocena struktur i podsystemów ESP jest konieczna do określenia w początkowej fazie projektowania systemów stopnia przydatności danego strukturalnego schematu do realizacji postawionych przed systemem zadań.

Przy opracowaniu zbioru wariantów strukturalnych ESP i ich podsystemów, zachodzi konieczność jakościowego porównania tych schematów.

W celu zsyntezowania struktury ESP należy:

1. Zbudować model funkcjonalny ESP (wyznaczenie zbioru realizowanych funkcji).
2. Opracować algorytm funkcjonowania ESP z określeniem wzajemnych powiązań funkcjonalnych.
3. Podzielić funkcje ESP pomiędzy maszyny technologiczne systemu.
4. Złożyć ESP z *TM* (określić zbiór *TM* z uwzględnieniem możliwości wykonania przez jeden *TM* kilku operacji, określić relacje między nimi, wyznaczyć rozkład *TM* i *FM* w ESP).

Zsyntetyzowany ESP jest uważany jako optymalny, jeśli umożliwia uzyskanie maksimum (minimum) wskaźnika efektywności, co odzwierciedla jego główne właściwości z punktu widzenia wykonania postawionych zadań. Zadania syntezy ESP mogą różnić się:

- rodzajem wskaźników efektywności,
- typem uwzględnianych charakterystyk elementów,
- rodzajem ograniczeń.

Na początkowym etapie syntezy ESP funkcje systemu są przedstawiane pod postacią modelu funkcjonalnego, który może być zastąpiony operacjami technologicznymi. Podczas formalizacji relacji między funkcjami zwykle uwzględnia się sposób realizacji operacji.

Przy rozwiązaniu zadań dekompozycji funkcji ESP wyznacza się zbiór funkcji elementarnych ($i = 1, 2, \dots, I$), z których każda może być zrealizowana przy pomocy *FM*.

Podczas tworzenia struktury należy koniecznie rozdzielić funkcje ESP ($i = 1, 2, \dots, I$) między *FM* albo *TM* ESP, z których każdy umożliwia wykonanie j_i rodzajów technicznej realizacji ($j_i = 1, 2, \dots, J_i$) oraz określić sposób organizacji zależności funkcjonalnej pomiędzy *FM*. Należy przy tym uwzględniać takie parametry techniczne i ekonomiczne systemu jak: koszty budowy *A* i eksploatacji *W*, stałość cyklu realizacji funkcji *T*, niezawodność systemu *P*, zużycie energii *E* itd.

Opis funkcjonalny ESP jest podstawą do kształtowania struktury ESP. Przy projektowaniu ESP należy także określić niezbędny sprzęt i urządzenia. Jest to niezbędne do organizacji nowej produkcji, a w produkcji zmiana asortymentowa wyrobów może spowodować konieczność częściowej wymiany starego sprzętu na nowy. Zadanie projektowania z częściowym wyborem sprzętu jest szczególnym przypadkiem projektowania procesu z pełnym doбором sprzętu.

Wybór sprzętu, podział operacji procesu grupowego według stanowisk roboczych, określenie rozmiaru partii i sposobu wykonania operacji na stanowiskach roboczych, a także urządzeń technologicznych do wykonania każdej operacji jest wykonywany wielowariantowo. Każdy wariant różni się wartościami

kryteriów jakości: kosztem, wydajnością, dokładnością i niezawodnością. Celem projektowania ESP jest poszukiwanie efektywnych wariantów procesu grupowego i jego operacji oraz synteza optymalnej struktury ESP. Te dwa zadania są między sobą powiązane.

2.4. Środki sterowania systemami zautomatyzowanymi. Rola techniki komputerowej w integracji produkcji elastycznej

Zastosowanie współczesnych środków sterowania systemami zautomatyzowanymi umożliwia znaczące zwiększenia wydajności produkcji. Większość przedsiębiorstw nie wprowadza od razu pełnej automatyzacji, lecz częściową, co jest procesem mniej kosztownym.

Należy stosować nowoczesne i rozwojowe środki i technologie sterowania. Stopniowe wdrożenie automatyzacji w przedsiębiorstwie musi być dokładnie zaplanowane. Przede wszystkim należy wybrać elastyczną, hierarchiczną strukturę systemu sterowania.

Decydującymi składnikami, określającymi przedsiębiorstwo są: produkcja, transport, magazynowanie oraz zarządzanie określające relacje pierwszych trzech składników.

Proces produkcji lub montażu wyrobów nazywa się **produkcją**. Proces ten obejmuje wyposażenie bezpośrednio stosowane w toku produkcji i montażu.

Przemieszczanie materiałów w trakcie produkcji nazywa się **transportem**. Przemieszczanie produktów, jak również narzędzi pracy i odpadów, także należy do tego elementu produkcji. Transport jest elementem zaopatrzenia w stosunku do produkcji i jego wynikiem jest dostawa niezbędnych materiałów do wskazanego miejsca w określonym czasie.

Operacje magazynowe i zarządzanie zapasami niezbędnych do produkcji materiałów (surowców, gotowych wyrobów, produktów operacji pośrednich, narzędzi itd.) nazywają się **przechowywaniem**.

Środki sterowania obejmują sprzęt elektroniczny, oprogramowanie komputerowe oraz czujniki, programowalne jednostki sterujące i komputery wykonujące funkcje sterowania i przetwarzania danych. Systemy planowania długookresowego i operacyjnego (jednostki sterujące wysokiego poziomu) łączą te składniki w jedną całość.

2.4.1. Hierarchia systemu sterowania

Zautomatyzowany system sterowania produkcją może być przedstawiony jako wielopoziomowy – rys. 2.10. Do zapewnienia sterowania i opracowania danych na każdym poziomie są stosowane komputery. Połączenia pomiędzy komputerami łączą te poziomy.

Najwyższy poziom 7 to główny system planowania przedsiębiorstwa. Długookresowe plany oraz niezbędna informacja są przekazywane na poziom 6, na

którym odbywa się dokładne planowanie. Określone są wymagania odnośnie transportu, niezbędnych mocy produkcyjnych oraz ich podział. Otrzymana na tym poziomie informacja jest informacją wejściową do poziomu 5, na którym jest realizowane wrażenie otrzymanych na poziomie 6 planów i wyników.

Na poziomie 5 są określane harmonogramy pracy podstawowych środków technicznych, zakupy i zlecenia robocze. Poziom 4 odpowiada za sterowanie technologicznymi procesami produkcji, transportem oraz pracami magazynowymi w czasie rzeczywistym. Przejście od planowania ogólnego do sterowania w czasie rzeczywistym to przejście od poziomu 5 do poziomu 4 – ma ono znaczenie jakościowe.

Lokalne sterowniki maszyn i urządzeń są usytuowane na poziomie 3. Urządzenia i ich oprogramowanie zależą od stosowanych środków technicznych. Urządzenia elektromechaniczne bezpośrednio sterujące wyposażeniem są usytuowane na poziomie 2.

Wyposażenie natomiast jest usytuowane na poziomie 1. Mogą to być: obrabiarki, automatycznie sterowane środki transportu, automatyczne maszyny magazynowe i roboty, jak również automatyczny sprzęt magazynowy, a także systemy diagnostyczne.

Sieci komunikacyjne w pełni zautomatyzowanych systemów łączą wszystkie poziomy w taki sposób, jak układ nerwowy w ciele człowieka. Mózg otrzymuje od układu nerwowego informacje, impulsy sterujące i dane o stanie poszczególnych elementów ciała człowieka. W ich wyniku są podejmowane decyzje i przesyłane sygnały sterujące. W zintegrowanym systemie zarządzania przedsiębiorstwem te same funkcje pełni sieć komunikacyjna komputera.

Każdemu poziomowi odpowiada funkcjonalny blok systemu sterowania. W toku projektowania hierarchicznego środków (systemu) zarządzania zautomatyzowanego systemu należy przestrzegać przyjętej strategii.

Prawidłowe uporządkowanie można ustalić tylko po zbadaniu i określeniu następujących elementów kluczowych:

- funkcji, które należy wykonać,
- wyposażenia, którym trzeba sterować,
- celu automatyzacji,
- struktury organizacyjnej.



Rys. 2.10. Hierarchia systemu sterowania

Funkcja systemu produkcyjnego może zostać określona poprzez pryzmat tego co i w jakiej ilości mają wykonywać jednostki sterowania systemem. Do zautomatyzowanego systemu zarządzania pracą magazynową należy, między innymi, zarządzanie miejscami pracy, stanowiskami wagowymi, wyposażeniem do pakowania, maszynami magazynowymi, wyposażeniem transportowym. Do funkcji jednostek sterujących systemem zautomatyzowanym należą procesy sterowania w czasie rzeczywistym, przetwarzania danych oraz organizacji łączności między maszynami.

Określenie funkcji umożliwi wybór maszyn i sprzętu. Konfiguracja systemu sterowania w takich warunkach zależy od ilości, rozmieszczenia i funkcji tego wyposażenia. Następnie ze względów bezpieczeństwa są określone połączenia sterujące oraz mechaniczne różnych podsystemów.

Dokładne określenie celu i priorytetów umożliwia rozpoczęcie procesu opracowania projektu automatyzacji.

Zastosowana w toku określenia konfiguracji systemu sterowania strategia w dużym stopniu zależy również od organizacji przedsiębiorstwa. System ma umożliwiać zarządzanie przedsiębiorstwem w sposób zgodny z wymaganiami jego zarządu. Praca systemu jest częściowo niezmienna lub ściśle ustalona, i w pewnym stopniu sterowana komputerowo przez zarząd. Obie opcje są zakładane na etapie opracowania systemu. Zestaw funkcji oraz metody sterowania w dużym stopniu zależą od organizacji przedsiębiorstwa.

W toku budowania hierarchicznego systemu sterowania projektanci muszą postępować w następujący sposób:

- Należy pogrupować funkcje systemu sterowania w logiczne moduły. To znaczy, nie należy koncentrować funkcji sterowania w jednym superkomputerze. W przypadku rozdzielenia funkcji pomiędzy komputery o mniejszej mocy, usytuowane obok obiektów, którymi sterują, można osiągnąć istotne uproszczenie tych funkcji. W wyniku uzyskuje się bardziej dogodny do użytkowania i naprawy oraz bardziej zrozumiały system sterowania.
- Należy dokonywać przetwarzania informacji na maksymalnie niskich poziomach. Technika mikroprocesorowa zapewnia ekonomiczność takiego podejścia.
- Doświadczenie pokazuje, że należy stosować sprzęt komputerowy obciążony w około 50%, nawet sprzęt obciążony w 85% umożliwia standardową obsługę oprogramowania.
- System sterowania powinien zawierać dwa składniki – sprzęt i oprogramowanie. Różne kombinacje tych składników dają możliwość realizacji funkcji sterowania i otrzymania różnych wariantów systemu. Założenie, że obniżenie ogólnej wartości systemu może być osiągnięte w wyniku obniżenia wartości środków technicznych, nie zawsze jest prawdziwe, ponieważ koszty oprogramowania często są porównywalne z wartością sprzętu lub są nawet wyższe.
- Należy opracować taki system sterowania, który w razie usterki w sposób minimalny będzie wpływał na pracę całego przedsiębiorstwa.
- Należy dokonać oceny charakterystyki systemów sterowania, w tym przepustowości oraz czasu reakcji systemu. Dodatkowe zasoby komputera zapewniają możliwość reakcji systemu w wymaganym czasie.
- Należy uwzględnić możliwość naprawy za pomocą środków programowych i sprzętowych oraz realizacji zadań na innych maszynach w czasie awarii.

Proces opracowania systemu powinien uwzględniać utworzenie załączników oraz wymagań odnośnie modyfikacji, funkcjonalnej specyfikacji i opracowania dokładnego projektu. Dokumenty te określają system. Przed rozpoczęciem opracowania kolejnego dokumentu, należy w całości zakończyć opracowanie poprzedniego. Aktualizacja hierarchii systemu sterowania z uwzględnieniem nowych danych jest obowiązkowym punktem w opracowaniu każdego z tych dokumentów.

Określenie wymagań odnośnie oprogramowania jest najbardziej skomplikowanym aspektem wyboru struktury systemu sterowania. Problemy, które mogą być spowodowane przyszłymi zmianami można zminimalizować w wyniku opracowania odpowiedniej architektury systemu sterowania. Należy przy tym uwzględnić wpływ oprogramowania na charakterystyki systemu w całości.

Szybkość i czas pracy systemu zależy od charakterystyk eksploatacyjnych, do których należą: wydajność, czas reakcji i stopień wykorzystania.

Poziom przepustowości (obciążenia) systemu nazywa się **wydajnością**. Na przykład, wydajność przenośnika to ilość jednostek produkcji, które może on przenieść w ciągu godziny. Wydajność różni się od maksymalnej przepustowości tym, że określa maksymalną liczbę jednostek produkcji, które są przenoszone na przenośniku w ciągu godziny.

Szybkość wykonania określonych czynności przez system sterowania zależy od **czasu reakcji**. Jest to czas oczekiwania na odpowiedź przez operatora terminalu, w przypadku automatycznego środka transportowego jest to czas, konieczny do podjęcia przez komputer decyzji o wyborze jednej z dróg. W niektórych przypadkach wymagania odnośnie czasu reakcji są bardziej istotne, niż wymagania odnośnie wydajności.

Wykorzystanie zasobów przy obciążeniu i czasie reakcji systemu nazywa się **stopniem wykorzystania**. Wymagania odnośnie produktywności i czasu reakcji określają wymagania w stosunku zasobów komputera. Zestaw operacji zapewniających wymagany poziom wydajności określa niezbędny poziom zasobów. Różne operacje potrzebują różnej ilości zasobów systemu.

Na wymagania odnośnie systemu sterowania wpływają nie tylko charakterystyki operacji wykonywanych na maszynach technologicznych, ale również organizacja wymiany informacji między operatorem, a komputerem. Jeżeli zasoby komputera są określane wyłącznie w oparciu o charakterystyki sprzętu, to będą niewystarczające do prawidłowego funkcjonowania systemu.

2.4.2. Systemy informacyjno-pomiarowe jako podstawowe ogniwo sterowania systemem zautomatyzowanym

Postęp w dziedzinie zautomatyzowanych systemów sterowania spowodował, że są niezbędne nowe środki do gromadzenia i opracowania strumieni informacyjnych, automatycznych systemów kontroli, jak również systemów diagnostyki technicznej i rozpoznania. Takie zadania spełniają systemy informacyjno-pomiarowe (SIP).

Systemem informacyjno-pomiarowym nazywa się powiązane funkcjonalnie urządzenia i oprogramowanie, które realizują niezbędną obsługę informacyjną kontrolowanego obiektu, w tym zautomatyzowane gromadzenie, transfer, przetwarzanie i przechowywanie informacji pomiarowej. W takich warunkach określenia „gromadzenie” i „pomiarowy” należy traktować w szerokim sensie łącznie z procedurami skanowania, digitalizacji (sygnałów i obrazów), wektoryzacji itd. Jeżeli transfer danych jest dokonywany przez linię kablową lub drogą radiową to system nazywany jest telemetrycznym lub radiotelemetrycznym [2.9].

Typowa struktura SIP zawiera następujące moduły:

- gromadzenia informacji – jego podstawowe zadanie to wprowadzenie do systemu danych z różnych źródeł oraz ich wstępne opracowanie (operacje logiczne, kwantyzacja itd.). Czasem moduł ten jest nazywany podsystemem gromadzenia danych (PGD),
- opracowania informacji – fizycznie są to środki obliczeniowe programowo-numeryczne o określonym algorytmie sterowania i matematycznego opracowania informacji,
- przechowywania informacji – urządzenia, które w wyniku zmiany stosunku szybkości odczytu do zapisu uwzględniają charakterystyki dynamiczne różnych części systemu,
- uzgodnienia z użytkownikiem – dekodowanie, rejestracja i udostępnienie informacji użytkownikowi,
- sterowania – zapewniają interakcję oraz wymianę informacji między wszystkimi urządzeniami systemu informacyjno-pomiarowego.

W trakcie projektowania SIP, w celu podniesienia odporności na awarie, wprowadza się redundancję strukturalną i informacyjną.

Zwiększenie niezawodności eksploatacyjnej projektowanego systemu można osiągnąć w wyniku przestrzennego rozproszenia oraz funkcjonalnego podziału SIP. Takie systemy mają moduły programowalne usytuowane na obszarze całego obiektu sterowania (badania). Utworzenie takich modułów, w warunkach stosowania współczesnych mikroprocesorów, jest technicznie i ekonomicznie uzasadnione.

Organizacja łączności przez magistralę jest najbardziej wydajna w rozproszonych SIP. W tym przypadku do magistrali komputera wyższego poziomu podłączane są zewnętrzne PGD. Nie zachodzi między nimi interakcja lub objawia się jako dziedziczna w wyniku zastosowania ogólnych pakietów danych (pierwotnych, jak również powstałych w trakcie pracy), przechowywanych w pamięci komputera. Jednak niezbyt duża długość szyn (do 500 m) ogranicza przestrzenną strukturę SIP. Jest to wada takiego typu organizacji SIP.

Przy uzasadnieniu wyboru struktury SIP rozpatruje się również opcję zbudowania systemu oraz dokonania oceny jego jakości. Po wyborze częściowych wskaźników systemu jest określany ogólny wskaźnik jakości umożliwiający określenie najlepszego wariantu struktury SIP.

Zastosowanie mikroprocesorów do zbudowania modułów SIP umożliwia sprowadzenie obliczeń wskaźników częściowych jakości SIP do jednolitego systemu. Funkcjonowanie każdego modułu SIP można określić przez trzy wskaźniki skumulowane, których definicje są przedstawione niżej.

Maksymalna szybkość opracowania symboli dwójkowych przy określonej wiarygodności wykonywanych funkcji nazywa się **wydajnością modułu SIP** i jest oznaczana symbolem V . Wskaźnik ten zależy od fizycznej wydajności elektronicznych składników modułu SIP, stosowanych przez niego algorytmów funkcjonowania oraz zestawu poleceń i innych czynników.

Intensywność usterek A określa niezawodność funkcjonowania modułów SIP.

Stosunek szybkości danych numerycznych na wejściu i wyjściu określa współczynnik transformacji strumienia informacyjnego K_{TR} , którego wartość zależy od stosowanych algorytmów przetwarzania i transferu informacji. Na przykład, szybkości wyjściowego i wejściowego strumienia danych pokrywają się ($K_{TR}=1$) w przypadku modułów transferu informacji (magistrali informacyjnych), natomiast przy zastosowaniu algorytmów zmniejszających nadmiar danych w modułach przetwarzania szybkość wyjściowego strumienia danych może być mniejsza.

Koszty włączenia każdego z modułów do SIP w przypadku systemów realizujących swoje funkcje w warunkach ostrych ograniczeń charakterystyk techniczno-ekonomicznych można ocenić przy pomocy następującej sumy ważonej parametrów [2.5]:

$$E = v_1 G + v_2 P + v_3 H, \quad (2.13)$$

gdzie: E – sumaryczne koszty ważne,

v_1, v_2, v_3 – współczynniki wagowe,

G – sumaryczna masa modułów SIP,

P – sumaryczna moc SIP,

H – sumaryczna objętość zajęta przez moduły SIP.

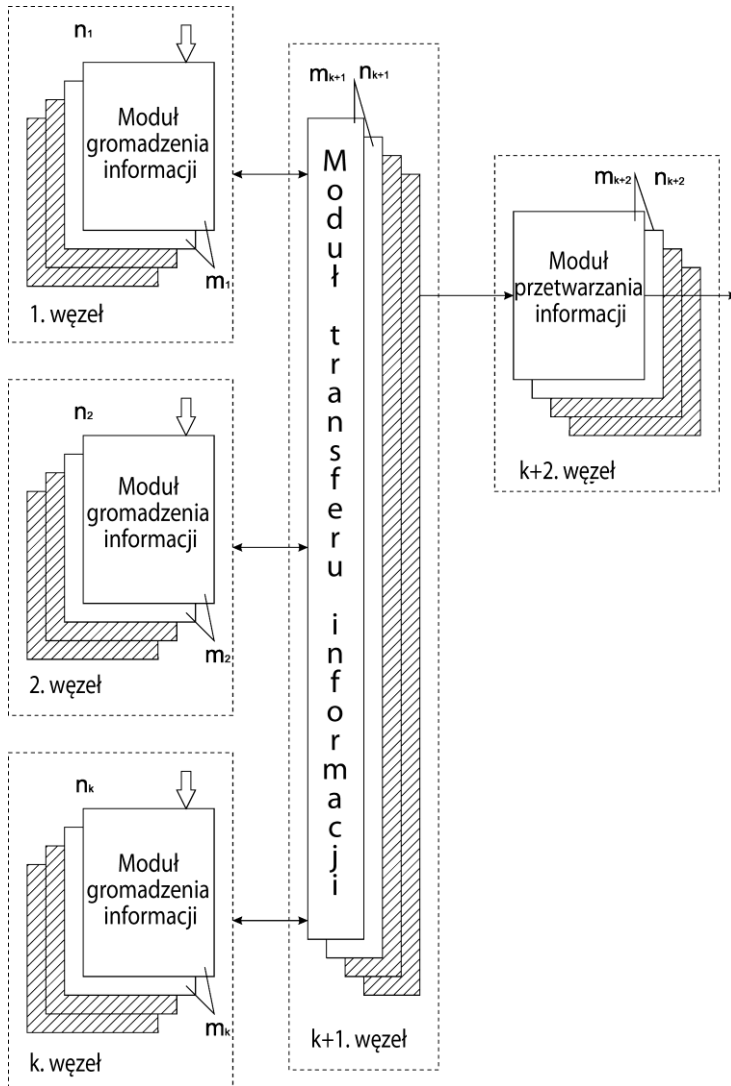
W przypadku zapewnienia niezbędnej wydajności i niezawodności minimalne wartości sumarycznych kosztów ważonych mogą być stosowane jako kryterium optymalnej struktury mikroprocesorowych SIP.

Wybór struktury SIP. Określenie całokształtu określonych podsystemów (bloków, modułów) oraz ich wspólnych powiązań leży u podstaw wyboru struktury systemu. W takich warunkach opis poszczególnych systemów jest wykonywany za pomocą uogólnionych parametrów (charakterystyk).

Ponieważ jak na razie nie ma opracowania teoretycznego zgodnie, z którym można byłoby dokonać optymalnej dekompozycji, to w każdym konkretnym przypadku są stosowane odpowiednie podejścia przybliżone. Przy ich zastosowaniu do obliczeń systemów mikroprocesorowych znajdują zastosowanie charakterystyki niezawodności, wydajności oraz inne parametry, których wartości zależą od środków sprzętowych oraz od oprogramowania. Prowadzi to do zwiększenia liczby ewentualnych opcji budowy systemu, które mimo różnej struktury i algorytmów realizacji zapewniają jednakową zasadę pracy.

Formułowanie zadania syntezy struktury SIP dokonuje się w następujący sposób: zostaje wybrany ilościowy i jakościowy skład modułów systemu, rodzaj połączeń informacyjnych między nimi zapewniający niezbędną wydajność i niezawodność systemu oraz optymalny względem kryterium minimum sumarycznych kosztów ważonych określonych wg zależności (2.13). Opracowanie systemu odbywa się w oparciu o urządzenia funkcjonalne o tej samej nazwie przy włączeniu następujących typów modułów: gromadzenia, opracowania, przechowywania i transferu danych. Mikroprocesor lub komputer jest urządzeniem bazowym do realizacji pierwszych dwóch modułów, a w przypadku dwóch pozostałych modułów mikroprocesor jest urządzeniem pomocniczym. Po rozwiązaniu problemu optymalizacji wśród określonych umownie optymalnych wariantów struktury jest wybierany wariant optymalny zapewniający najlepszy typ połączenia informacyjnego między modułami.

W tym przypadku nie może być zastosowana klasyczna metoda rozwiązania zadania optymalizacji, ponieważ zadanie ma charakter dyskretny. Bezpośredni dobór ewentualnych wariantów wymaga dużego czasu maszynowego. Do celowej zmiany parametrów struktury SIP można zastosować metodę programowania dynamicznego [2.5], która umożliwia na podstawie zadanych charakterystyk modułów określenie liczby modułów roboczych i rezerwowych w przypadku każdego węzła systemu, sposobu rezerwowania, rodzaju przetwarzania danych (rozproszone czy centralizowane), powiązania informacyjne między węzłami. Zastosowanie tego algorytmu do optymalizacji parametrów SIP pokazano na rys. 2.11. W tym przypadku system gromadzi informacje z dziesięciu obiektów rozproszonych w kontrolowanej przestrzeni.



Rys. 2.11. Struktura SIP

Informacja jest dostarczana ze wszystkich obiektów z jednakową prędkością. Gromadzenie, wymiana oraz przetwarzanie informacji – to trzy kroki sterowania, które należy uwzględnić w warunkach odpowiadających 3 poziomom systemu. Niedostarczenie informacji chociażby od jednego z kontrolowanych obiektów jest traktowane jako awaria systemu (wszystkie węzły systemu są połączone szeregowo).

Wybór struktury SIP należy przeprowadzać wg następującego algorytmu:

1. Etap I: wybór łącznej liczby modułów roboczych w k węźle systemu.

Najmniejsza łączna liczba modułów (n_k) w k węźle systemu zależy od liczby roboczych modułów (m_k). Brak jest ograniczeń odnośnie największej ogólnej liczby modułów węzła, więc:

$$m_k \leq n_k < \infty. \quad (2.15)$$

Ze względów harmonizacji wydajności sumarycznej z szybkością strumienia danych w węźle wybiera się liczbę roboczych modułów w węźle równą:

$$m_k = \left\lceil \frac{r_k}{V_k} \right\rceil, \quad (2.16)$$

gdzie: r_k – prędkość wpływu danych numerycznych do k -węzła,
 V_k – wydajność odrębnego modułu należącego do węzła,
 $\lceil \cdot \rceil$ – operator zwracający najbliższą liczbę całkowitą większą od X .

Częstość awarii dolnego poziomu systemu jest określana w następujący sposób:

$$\lambda_1 = \lambda_0 - \lambda'; \quad \lambda' = l\Lambda \frac{m_1}{n_1 - m_1 + 1}, \quad (2.17)$$

gdzie: l – łączna liczba węzłów.

Z zależności (2.17) jest określana najmniejsza liczba modułów odrębnego węzła gromadzenia informacji n_1 przy uwzględnieniu, że częstość awarii poziomu gromadzenia nie może przekraczać częstości awarii systemu w całości ($\lambda' < \lambda_0$).

Koszty sumaryczne każdego etapu można scharakteryzować następującym wskaźnikiem intensywności:

$$E_1 = l_1(v_1 m_1 P_1 + v_2 n_1 G_1), \quad (2.17)$$

gdzie: P_1 – konsumowana moc,
 G_1 – masa modułu funkcjonalnego.

W tej zależności zakłada się, że $v_1 = v_2 = 1$, tzn. oszczędność 1 kg sprzętu równa się oszczędności 1 W konsumowanej mocy.

2. Etap II: na drugim i trzecim etapie optymalizacji są określone wartości m_2, m_3 , a także λ_2, λ_3 i E_2, E_3 :

$$\lambda_k = \lambda_{k-1} - l_k \Lambda_k \frac{m_k}{n_k - m_k - 1}, \quad (2.19)$$

$$E_k = l_k (v_1 m_k P_k + v_2 n_k G_k) + E_{k-1}.$$

3. Etap III: ze wszystkich otrzymanych opcji są wybierane parametry struktury n_1, n_2, n_3 , zapewniające minimalny sumaryczny wskaźnik kosztów uogólnionych E_3 , przy założeniu określonej wydajności oraz niezawodności funkcjonowania.

Wybór bazowego zestawu mikroprocesorowego – to jedno z najważniejszych zadań na początkowym etapie opracowania systemu. Jest to zadanie skomplikowane, ponieważ ciągle przybywają nowe rodzaje mikroprocesorów o różnorodnej architekturze oraz możliwości obliczeniowych. Analiza porównawcza określonych wymagań i uogólnionych parametrów mikroprocesora, podanych w folderach reklamowych nie zapewnia racjonalnego wyboru mikroprocesora, ponieważ nie odzwierciedla jego rzeczywistych możliwości. Na przykład, maksymalna częstotliwość taktowania nie może być oceną wydajności mikroprocesora bez zbadania jego architektury, ponieważ ona przede wszystkim charakteryzuje technologię jego produkcji.

Porównanie szybkości wykonania krótkiej operacji dodania zawartości rejestru o pojemności akumulatora z dalszym transferem wyników do rejestru, również nie umożliwia poprawnego porównania mikroprocesorów pod względem wydajności, ponieważ w czasie realizacji takiego samego zadania przez różne mikroprocesory są uzyskiwane różne wyniki.

Również taki parametr jak liczba rozkazów także nie pokazuje rzeczywistej wydajności systemu rozkazów oraz ich powiązań z architekturą.

Ocena możliwości, założonych w architekturze i zestawie rozkazów, wszystkich typów mikroprocesorów to podstawowe zadanie projektanta w czasie wyboru bazowego zestawu mikroprocesorowego.

Niezbyt nadaje się także do oceny wydajności procesora wskaźnik **MIPS** (Millions of Instructions Per Second — **MIPS**), ponieważ w tym przypadku wydajność pracy procesora jest wyrażona w milionach operacji na sekundę i w dużym stopniu zależy od jego częstotliwości taktowania. Ocena wydajności MIPS zależy, więc istotnie od systemu rozkazów mikroprocesora: jeden rozkaz w mikroprocesorze tego typu może być równoważny z kilkoma rozkazami innego

mikroprocesora. Różne operacje są wykonywane w różnym czasie. Ocena MIPS w dużym stopniu zależy od tego, jakie rozkazy zostały uwzględniane. MIPS jest, więc pożyteczny tylko do porównania procesorów jednego producenta. Takie procesory mogą obsługiwać jednakowy system rozkazów. Należy także stosować jednakowe kompilatory.

Analogiczne wady występują przy pomiarze wydajności procesora w milionach operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę (Millions of Floating-Point Operations per Second – **MFLOPS**). Zwykle wydajność w MFLOPS jest obliczana w przypadku zmiennoprzecinkowych operacji dodawania i mnożenia. Ponieważ mikroprocesory stają się coraz szybsze, to wartość maksimum MFLOPS przestaje pełnić rolę racjonalnego miernika wydajności operacji zmiennoprzecinkowych: czynnikiem ograniczającym zaczyna być przepustowość kanałów pamięci (na ile szybko odbywa się transfer danych od procesora do procesora).

Wydajność to jedno z podstawowych kryteriów warunkujących wybór procesora. Można ją określić za pomocą wielu wskaźników: średniego czasu wykonania rozkazów, częstotliwości taktowania, czasu cyklu, czasu wykonania krótkiej operacji dodawania. Wskutek wpływu na wydajność wielu czynników (liczby rejestrów i sposobów adresowania, ilości pozycji przetwarzanych słów, czasu zwrócenia się do urządzenia pamięci, wykorzystania lub braku wykorzystania multipleksowych trybów pracy, liczby rozkazów), ocena wydajności mikroprocesora przy pomocy dowolnego z wymienionych wskaźników jest dosyć przybliżona.

Istnieje kilka metod określenia wydajności: pod względem czasu wykonania zadania wzorcowego, pod względem „mieszanki rozkazów”. W obecnej chwili w wyniku analizy statystycznej zadań naukowo-technicznych i planowo-ekonomicznych uzyskano wiele „mieszanek rozkazów”.

Pod warunkiem określenia obciążenia roboczego pojawia się możliwość zmiany podstawowych parametrów systemowych i porównania wydajności systemu w różnych konfiguracjach oraz różnych systemach między sobą. Takie określenie jest możliwe w wyniku zastosowania programów testowych.

Istnieją trzy rodzaje programów testowych:

1. Narzędzia, zależne od składników,
2. Środki oceny całego systemu,
3. Programy opracowane przez użytkownika.

Architektura mikroprocesora określa również niektóre jego ważne charakterystyki. Jest to system przerwań, ilość pozycji, liczba rejestrów wewnętrznych, możliwość bezpośredniego dostępu do pamięci, pojemność pamięci adresowanej.

Wydajność procesora zależy od ilości pozycji w przypadku, gdy długość wyrazu informacyjnego przechowywanego w urządzeniu pamięci jest dłuższa od ilości pozycji procesora. W przeciwnym razie ilość pozycji przetwarzanej informacji określa tylko precyzyjność obliczeń.

Maksymalnie możliwa ilość opracowywanej informacji charakteryzuje pojemność pamięci adresowanej określonej przez ilość pozycji szyny adresowej.

Oprócz oceny zgodności jakiegokolwiek procesora z wybranym systemem należy także ocenić zaproponowane oprogramowanie. Taka konieczność jest uwarunkowana tym, że koszty produkcji oprogramowania systemu są większe, niż wartość jego części sprzętowej. Bardzo rzadko można uniknąć zastosowania środków programowania w toku opracowywania oprogramowania systemu. Środki programowania stosowane w toku uruchamiania systemu określają jakość, niezawodność, wartość i czas jego opracowania.

2.5. Systemy produkcyjne elastyczne i rekonfigurowalne o otwartej architekturze

Rozwiązanie problemów kompatybilności i mobilności doprowadziło do opracowania dużej liczby norm i porozumień międzynarodowych w zakresie wykorzystania technologii informacyjnych, opracowania systemów informacyjnych, środków programowo-sprzętowych oraz środowisk programowych. Podstawowym pojęciem przy stosowaniu norm stało się pojęcie „systemu otwartego”.

Istnieje dość dużo definicji pojęcia „systemu otwartego” sformułowanych przez różne organizacje ds. standaryzacji oraz duże firmy. Niektóre z nich są przedstawione w rozdz. 1.3, jednak brak jest ścisłej i ogólnie przyjętej definicji tego terminu. Specjaliści firmy „Hewlett-Packard” uważają, że system otwarty – to całokształt różnorodnych połączonych w sieć komputerów, które mogą pracować jako jedyna zintegrowana całość niezależnie od tego, gdzie są usytuowane, kto jest ich producentem, jaki system operacyjny stosują. Zdaniem Komitetu IEEE POSIX 1003.0 Instytutu Inżynierów Elektryków i Elektroników (IEEE) – system otwarty na współczesnym etapie rozwoju technologii to system programowy lub informacyjny zbudowany w oparciu o zestaw norm międzynarodowych w zakresie IT i norm funkcjonalnych o specyfikacjach otwartych oraz interfejsach, umożliwiających interakcje, mobilność oprogramowania, danych, a także personelu.

Taka definicja unifikuje treść środowiska, jakie system otwarty udostępnia do szerokiego wykorzystania. Podstawowy w tej definicji jest termin „specyfikacji otwartej”, którą można objaśnić następująco: „Jest to ogólnodostępna specyfikacja wspierana przez otwarty, publiczny proces uzgodnień nakierowany na stałą adaptację nowej technologii, odpowiadającej normom” [2.10].

Rozwiązanie problemu otwartości opiera się, więc na standaryzacji interfejsów systemu i protokołów interakcji między ich składnikami.

Analizując definicję określenia „systemu otwartego” można wyszczególnić podstawowe cechy charakterystyczne systemów otwartych:

- środki techniczne, w oparciu o które jest realizowany system informacyjny są połączone w sieć lub sieci różnych poziomów – od lokalnej do globalnej,
- realizacja otwartości jest realizowana na bazie profili norm funkcjonalnych w branży IT. Profile tworzą zestaw uzgodnionych norm interfejsów, składników na każdym poziomie systemu i zapewniają ich kompatybilność. Integracja składników w systemie otwartym jest zapewniana przez profile norm ich interfejsów oraz środki komunikacji,
- systemy informacyjne posiadające cechy otwartości mogą być stosowane na dowolnych środkach programowych czy sprzętowych, należących do jednolitego środowiska systemów otwartych,
- systemy otwarte zakładają wykorzystanie jednolitych interfejsów w procesach interakcji w systemach: „komputer – komputer”, „komputer – sieć” i „człowiek – komputer”.

Otwarte muszą być zarówno systemy końcowe, jak i pośrednie. Dostępność takich systemów może być jednak ograniczona przez fizyczną izolację lub przez wykorzystanie możliwości technicznych do zabezpieczenia informacji w komputerach. Wykorzystanie zasad otwartości zakłada pewny nadmiar środków w trakcie opracowania zestawu urządzeń programowo-sprzętowych.

W obecnej chwili ideologia systemów otwartych jest podstawowym trendem rozwojowym w branży technologii informacyjno-komunikacyjnych, środków automatyzacji oraz techniki obliczeniowej. Jej zastosowanie zasadniczo zmieniło technologię opracowania systemów automatyzacji, umożliwiając szybkie opracowanie skutecznych rozwiązań w prawie każdej dziedzinie, dzięki systemowej integracji rozmaitego sprzętu pochodzącego od różnych producentów. Tę ideologię realizują w swoich ostatnich opracowaniach wszystkie czołowe firmy – dostawcy środków automatyzacji, techniki obliczeniowej, transferu informacji i oprogramowania oraz projektanci systemów informacyjnych.

Ogólne cechy systemów otwartych (przedstawione w rozdz. 1.3) to: zdolność do rozbudowy/skalowalność – *extensibility/scalability*, mobilność (przenośność) – *portability*, interoperacyjność (zdolność do interakcji z innymi systemami) – *interoperability*, łatwość obsługi, w tym łatwość sterowania – *driveability*. Te cechy, każda z osobna, były właściwe również w przypadku poprzednich pokoleń systemów informacyjnych i środków techniki obliczeniowej. Nowe podejście do systemów otwartych cechuje się tym, że cechy te są rozpatrywane jako występujące łącznie – powiązane między sobą [2.20].

Wychodząc z konieczności kompleksowej realizacji ogólnych cech otwartości, należy uściślić pojęcie architektury systemów i środków otwartych z punktu widzenia ich opisu zewnętrznego (*reference model*), tzn. z punktu widzenia ich użytkowników. Architekturę systemu otwartego, można więc przedstawić jako opis hierarchiczny zewnętrznego wyglądu systemu i każdego jego elementu z punktu widzenia [2.6]:

- użytkownika (interfejs użytkownika),
- projektanta systemu (środowisko projektowania),
- programisty aplikacji (środowisko programowania – systemy i narzędzia),
- programisty systemowego (architektura komputera),
- projektanta sprzętu (interfejs wyposażenia).

Według normy IEEE architektura otwarta jest określana jako „specyfikacja możliwości i serwisów, która określa strukturę wzajemnych połączeń oraz interfejs między składnikami interakcji”. Taka architektura ma następujące cechy [2.6]:

- wspólna wydajność – standaryzowana semantyka danych i modeli zachowania, mechanizmów komunikacji oraz interakcji,
- przenośność – możliwość wykonania składników systemu na różnych platformach,
- skalowalność – możliwość zwiększenia lub zmniejszenia funkcjonalności systemu przez dodanie lub usunięcie różnych składników,
- wymiennność – możliwość wymiany na żądanie jednych składników na inne.

Podstawowa zasada kształtowania systemów otwartych polega na stworzeniu środowiska zawierającego środki programowe i sprzętowe, systemy, służby i protokoły łączności, interfejsy, formaty danych. Takie środowisko opiera się na dostępnych i ogólnie przyjętych normach międzynarodowych i zapewnia istotny stopień interakcji, mobilność oraz skalowalność aplikacji i danych. Dzięki tym właściwościom są minimalizowane koszty zapewnienia dziedziczności oraz ponownego wykorzystania zgromadzonych zasobów informacyjnych przy przejściu na bardziej doskonałe platformy informacyjno-komunikacyjne, a także integracja różnorodnych systemów i zasobów w kompleksowe systemy rozproszone.

Zastosowanie koncepcji systemów otwartych zapewnia niezależność od dostawców środków programowo-sprzętowych, umożliwia wykorzystanie różnych platform sprzętowych, zasobów informacyjnych zgromadzonych w innych systemach, istotnie ułatwia opracowanie urządzeń i skrócenie terminów ich budowy, umożliwia przeprowadzenie wymiany poszczególnych składników bez konieczności przebudowy całego systemu, modułową organizację kompleksów oraz wykorzystanie gotowego oprogramowania. Ideologia i normy systemów otwartych umożliwiają nowe spojrzenie na podział funkcji między składnikami programowymi systemów rozproszonych, a także uniknięcie wielokrotnego dublowania i istotne zwiększenie wydajności.

Jednym ze współczesnych podejść do opracowania złożonych kompleksów i systemów programowo-sprzętowych, w wysokim stopniu zgodnych z podstawowymi właściwościami systemów otwartych, jest projektowanie i programowanie zorientowane obiektowo. Celem podejścia obiektowego jest adekwatne modelowanie obszaru przedmiotowego w terminach interakcji obiektów, a jego podstawą konceptualną są modele obiektowe, odzwierciedlające realny obszar przedmiotowy w obiektach i klasach systemu programowego. Obiektem jest konkretny obiekt, który da się zidentyfikować, rzeczywisty lub abstrakcyjny, odgrywający ściśle określoną rolę w tym obszarze przedmiotowym [2.2]. Ma on określone granice, charakteryzuje się stanem, zachowaniem oraz indywidualnością, dzięki czemu można go wyodrębnić wśród innych obiektów i można go opisać całokształtem jego właściwości (atrybutów) i reakcji na oddziaływania zewnętrzne. Obiekt ma cykl życia – okres istnienia, który może być statyczny albo dynamiczny i nie pokrywać się z okresem istnienia całego systemu.

Wszystkie obiekty można podzielić na dwie kategorie: pasywne i aktywne. Obiekt pasywny operuje tylko danymi i nie może zainicjować działalności w zakresie sterowania innymi obiektami. Obiekty pasywne mogą jednak wysyłać sygnały w toku realizacji otrzymanych zapytań. Obiekt aktywny tworzy swój własny strumień sterowania (wpływy sterujące), który może być wykonywany równoległe z innymi procesami obliczeniowymi lub procesami sterowania i może zainicjować działalność w zakresie sterowania innymi obiektami.

Obiekty o jednakowej strukturze i zachowaniu łączą się w klasy – zestawy obiektów o wspólnej strukturze, zachowaniu i semantyce. Jeżeli każdy rozpatrywany obiekt odgrywa określoną rolę w systemie ogólnym, to w tym przypadku klasa opisuje strukturę i zachowanie wspólne w przypadku wszystkich spokrewnionych obiektów. Klasa określa właściwości (zmienne) i zachowanie (metody) obiektów klasy i także jest obiektem ze swoimi właściwościami, zachowaniem i zdolnością do tworzenia nowych obiektów.

Każdy obiekt określa pewną strukturę danych i dostępne procedury ich przetwarzania w interakcji z otoczeniem przez interfejs w postaci wykazu komunikatów, które może on odbierać. Interfejs odzwierciedla zewnętrzne zachowanie obiektu, tzn., wszystko to, co obiekt może robić. Całokształt wszystkich metod związanych z konkretnym obiektem tworzy protokół opisujący zachowanie obiektu i zawierający wszystkie jego właściwości statyczne i dynamiczne.

Struktura klas i struktura obiektów tworzą architekturę systemu. Struktura klas i struktura obiektów nie jest zupełnie niezależna, ponieważ każdy element struktury obiektów jest specyficznym egzemplarzem określonej klasy. Występowanie dwóch hierarchii umożliwia zmniejszenie nadmiarowości modelu systemu i nie dublowanie informacji o wspólnych właściwościach elementów systemu należących do jednej klasy. Struktura klas umożliwia rozwiązanie problemu dublowania umożliwiając opisanie wszystkich wspólnych cech w jednym miejscu.

Grupowanie atrybutów i metod w klasy, faktycznie rozwiązuje problem abstrahowania danych. Idea klas prowadzi do idei dziedziczności. Każda podklasa w hierarchii klas wykorzystuje właściwości klasy, z której ona się wywodzi. Podklasa może mieć również swoje własne specyficzne charakterystyki. Wyższa klasa w hierarchii dziedziczenia, w stosunku do nowej klasy, jest nazywana klasą rodzicielską lub superklasą. Nowa klasa dziedziczy zachowanie klasy rodzicielskiej.

Podstawowymi zasadami podejścia zorientowanego obiektowo są: abstrahowanie, enkapsulacja, modułowość, hierarchia, polimorfizm i dziedziczenie, sformułowane przez Grady'ego Boocha w jego fundamentalnej książce [2.2]:

- abstrahowanie pozwala na wyodrębnienie istotnych charakterystyk określonego obiektu, które odróżniają go od wszystkich innych rodzajów obiektów i w ten sposób ściśle opisuje jego granice konceptualne z punktu widzenia obserwatora,
- enkapsulacja to proces oddzielania od siebie składników obiektu, które określają jego strukturę i zachowanie. Enkapsulacja służy temu, aby izolować zewnętrzne zachowanie obiektu od jego budowy wewnętrznej,
- modułowość to właściwość systemu pozwalająca na podział na zwarte, lecz słabo powiązane ze sobą podsystemy – moduły,
- hierarchia – to uporządkowanie abstrakcji, środek klasyfikacji obiektów, systematyzacja powiązań między obiektami,
- polimorfizm jest interpretowany, jako zdolność obiektów do interakcji z obiektami różnych typów, ponieważ różne obiekty mogą w różny sposób reagować na jednakowe wydarzenia zewnętrzne zależnie od sposobu realizacji metody działania,
- dziedziczenie oznacza taki stosunek między klasami, kiedy jedna klasa zapożycza strukturę lub zachowanie od jednej lub kilku innych klas (jest to odpowiednio dziedziczenie jednostkowe i wielokrotne).

Abstrahowanie, enkapsulacja, modułowość i hierarchia tworzą podstawę modelu obiektowego, który jest bazą koncepcyjną podejścia zorientowanego obiektowo. Abstrakcja pozwala na określenie ścisłych granic obiektu, a enkapsulacja i modułowość tworzą bariery między abstrakcjami. Enkapsulacja umożliwia rozwiązanie problemu złożoności ukrywając przy tym wewnętrzne przedstawienie abstrakcji. Modułowość umożliwia logiczne połączenie w grupach powiązanych abstrakcji. Jednocześnie pojęcia polimorfizmu i dziedziczenia określają ewolucję systemu zorientowanego obiektowo.

Podstawowe właściwości systemów otwartych są dobrze obsługiwane w ramach obiektowo zorientowanego podejścia do projektowania złożonych systemów, a mianowicie [27]:

- rozszerzalność – dziedziczenie umożliwia oszczędność środków w trakcie rozszerzenia systemu, ponieważ wiele elementów nie trzeba wymieniać, ale niektóre nowe składniki można tylko uzyskać w wyniku wymiany starych. Oprócz ponownego wykorzystania wielu elementów także zwiększa się niezawodność, ponieważ są stosowane elementy już sprawdzone. Możliwość konstruowania abstrakcyjnych typów danych w celu stworzenia nowych środków jest zapewniana przez samo pojęcie klasy, która łączy podobne obiekty o jednakowym zestawie operacji,
- mobilność – enkapsulacja pozwala na dobre ukrycie elementów systemu maszynowo-zależnych, które muszą być ponownie realizowane przy przejściu na inną platformę. Przy tym pozostała część systemu nie potrzebuje zmian. W toku realizacji nowych elementów maszynowo-zależnych można wykorzystać, dzięki mechanizmowi dziedziczenia, wiele elementów z systemu już istniejącego,
- interoperacyjność – zdolność systemu do interakcji z innymi systemami, na przykład poprzez wysyłanie komunikatów, polimorfizm i łączność dynamiczną. W komunikacie obiektu (nawet odległego) jest wysyłana nazwa czynności, która ma być wykonana oraz pewne dodatkowe argumenty komunikatu. O sposobie wykonania tej czynności decyduje sam obiekt – nabywca komunikatu. Ma on tylko wysłać wynik w odpowiedzi. Oczywiście, różne obiekty będą w różny sposób reagować na jednakowe komunikaty (polimorfizm). Dobrze jest wybierać, przy odpowiedzi na komunikat, sposób realizacji w ostatniej chwili – w zależności od bieżącego stanu systemu (powiązanie dynamiczne). Aby różne systemy mogły wymieniać się komunikatami, jest konieczne jednolite traktowanie wszystkich typów danych, w tym abstrakcyjnych lub indywidualna procedura transformacji komunikatów do każdej pary niejednakowych systemów w interakcji. Prostota pojęcia abstrakcyjnych typów danych w systemach obiektowo zorientowanych istotnie ułatwia opracowanie takiej procedury,
- łatwość obsługi – łatwość interakcji człowieka z systemem jest uwarunkowana posiadaniem przez system trzech wyżej wymienionych właściwości. Mobilność jest niezbędna ze względów szybkiej wymiany starych na nowe urządzenia, rozszerzalność jest niezbędna do opracowania programowego wsparcia nowych paradygmatów współpracy człowieka z maszyną, a interoperacyjność rozpatruje człowieka jako inny system, z którym system otwarty ma umieć współpracować.

Opracowanie systemów produkcyjnych elastycznych i rekonfigurowalnych o otwartej architekturze jest realizowane w zakresie:

1. Opracowania wirtualnych rozproszonych systemów produkcyjnych (RSP) na bazie koncepcji systemów otwartych. Jako RSP, leżące u podstaw produkcji wieloobiektowej, są rozpatrywane organizacyjnie niepowiązane ze sobą systemy produkcyjne zawierające wyposażenie technologiczne niezbędne do wykonania procesu technologicznego produkcji konkretnego rodzaju wyrobów [2.7]. Przy realizacji przez każdy system produkcyjny swoich zadań produkcyjnych w składzie RSP, procesy produkcyjne są wykonywane niezależnie od siebie.

Uwzględniając, że wytwarzanie szerokiego asortymentu wyrobów w różnych ilościach może nie trwać długo, to w celu jej realizacji nie można dokonywać fizycznej przebudowy już istniejących systemów produkcyjnych. Dlatego jednym z nowych podejść do procesu kształtowania systemów produkcyjnych o wymaganych właściwościach, bez dokonywania pracochłonnych i kosztownych zmian, jest utworzenie wirtualnie rozproszonych systemów produkcyjnych, które mogą ciągle zmieniać swoją konfigurację oraz strukturę procesów produkcji w taki sposób, żeby zachowywać maksymalną wydajność. Informacja o strukturze wirtualnej RSP jest przechowywana wyłącznie w pamięci komputera.

2. Opracowania rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych (RSP), mających możliwość, zależnie od wymagań producenta i użytkownika końcowego, płynnej zmiany mocy produkcyjnych. Podstawowymi składnikami RSP są: nowy typ obrabiarek modułowych o zmiennej strukturze i możliwości rekonfiguracji zasobów oraz rekonfigurowalne systemy sterowania zapewniające połączenie wszystkich elementów w otwartym środowisku strukturalnym, adaptację organizacji przestrzenno-czasowej (architektury) systemu produkcyjnego do zmian popytu rynkowego. Szybkość przezbrajania jest zapewniana przez jednoczesną rekonfigurację całego systemu, obrabiarek, osprzętu oraz oprogramowania systemów sterowania. Takie systemy wypełniają lukę między specjalizowanymi liniami, a elastycznymi systemami produkcyjnymi i łączą w sobie zalety obu podejść [2.4].

Struktura RSP jest kształtowana w oparciu o koncepcję systemów otwartych i istotnie różni się od istniejących systemów. Zamiast remontu czy nastawienia systemu niezdolnego do pracy w przypadku awarii jakiegokolwiek elementu (mechanizmu, urządzenia) jest on automatycznie wymieniany. W ten sposób ulega wydłużeniu cykl życia systemu.

3. Zapewnienia otwartości zintegrowanych kompleksów programowo-technicznych w wyniku zastosowania takich typowych rozwiązań jak: architektura otwarta kompleksu technicznego, współczesne systemy operacyjne, sieci przemysłowe łączące środki programowo-sprzętowe i technologiczne w jednym systemie, otwarte środki wizualizacji informacji

technologicznej; otwarte systemy zarządzania produkcją, systemy zarządzania bazami danych na poziomie przedsiębiorstwa [2.6]. Cechy otwartości są realizowane przez zastosowanie następujących mechanizmów standardowych:

- OLE – (Object Linking and Embedding – mechanizm włączenia i osadzania obiektów) – mechanizm transferu danych między procesami,
 - OPC – (OLE for Process Control) – mechanizm komunikacji z urządzeniami technologicznymi,
 - ActiveX – mechanizm podłączenia osadzanych obiektów programowych.
4. Zapewnienia otwartości programowej, tzn. możliwości stosunkowo łatwego i skutecznego przeniesienia środków programowych na różne typy platform sprzętowych, jak również standaryzacja procesów interakcji różnych stosowanych programów i systemów operacyjnych.
 5. Zapewnienia otwartości sprzętu, tzn. unifikacji i standaryzacji struktur, procesów oraz interfejsów w celu zapewnienia kompatybilności metod i środków wymiany danych pomiędzy wyposażeniem różnych typów.
 6. Zastosowania otwartych modułowych systemów operacyjnych czasu rzeczywistego. Współczesne systemy automatyzacji są skomplikowanymi układami sprzętowo-programowymi, których zbudowanie jest niemożliwe bez zastosowania systemów operacyjnych czasu rzeczywistego. Systemy operacyjne przejmują większą część pracy w zakresie zarządzania zasobami, oferują aplikacjom szeroki zestaw usług serwisowych oraz unifikują proces interakcji z urządzeniami wejścia/wyjścia. Modułowość systemu istotnie ułatwia opracowanie sterowników zewnętrznych urządzeń oraz konfigurację systemu [2.22].
 7. Wykorzystania architektury magistralowo-modułowej przy projektowaniu współczesnych, uniwersalnych środków technicznych automatyzacji, zgodnie z normami odnośnie systemów magistralowo-modułowych (SMM) dla przemysłowych systemów automatyzacji – VME (IEC-821), MultyBus-II, ISA itd. Oprócz klasycznych technologii „mezoninowych” SMM ostatnio coraz bardziej popularne są tzw. „moduły „mezoninowe”, będące dobrym sposobem na funkcjonalne rozszerzenie tradycyjnych modułów SMM dzięki bezpośredniemu podłączeniu do modułu – nośnika [2.22].
 8. Zastosowania sterowników o otwartej architekturze modułowej. Opracowanie rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych, posiadających możliwość zmiany rozplanowania oraz przezbrowienia przy zmianie obiektu produkcji, wymaga utworzenia łatwo rekonfigurowalnych operacji maszynowych oraz włączenia do linii maszynowych szybkiej komunikacji, umożliwiającej transfer dużej ilości informacji. Kluczowym czynnikiem do realizacji tej strategii są elastyczne sterowniki modułowe.

Opracowanie i zastosowanie sterowników o otwartej architekturze modułowej (Original, Modular Architecture Controller – OMAC), których zastosowanie umożliwia: ułatwienie zadań integracji zwiększenie czasu pracy obrabiarek oraz minimalizacja ich przestojów wynikających z napraw, łatwiejsza realizacja funkcji diagnostyki sterownika, obrabiarki i procesu, łatwość użytkowania obrabiarek i sterowników, większe możliwości integracji różnych technologii, podłączenie rozmaitych gotowych składników programowych i sprzętowych [2.22]. Sterowniki OMAC posiadają także możliwości skutecznej rekonfiguracji w celu wsparcia nowych procesów i przejścia na nowe technologie, ponieważ taka charakterystyka jak elastyczność jest określana głównie nie przez sprzęt, a przez moduły programowe.

LITERATURA

- [2.1] Выжигин А. Ю. Гибкие производственные системы: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2009, 288 с.
- [2.2] Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Гради Буч, Роберт А.Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон. 3-е изд.: Пер. с англ. М.: 000 «И.Д. Вильяме», 2008. – 720 с.
- [2.3] Венцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988, 208 с.
- [2.4] Григоренко О. В., Ковалевський С. В. Теоретичні основи створення реконфігурованих виробничих систем. Науковий вісник ДДМА № 2 (8 Е), 2011. с. 233–237.
- [2.5] Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001, 352 с.
- [2.6] Димаки А. В. Интегрированные системы проектирования и управления. 2-е изд., перераб. Томск: ТУСУР, 2012, 219 с.
- [2.7] Электронный ресурс <http://www.kazmm.ru/avtomatizatsiya-proizvodstvennykh-protsesov-v-mashinostroenii>
- [2.8] Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. Пер. С франц. М.: Наука, 1975, 480 с.
- [2.9] Лодон Дж. Управление информационными системами. 7-е изд. /Пер. с англ. Под ред. Д.Р. Трутнева / Дж.Лодон. К.Лодон. СПб.: Питер, 2005. 912 с.: ил. (Серия «Классика МВА»).
- [2.10] Барбанова М. И., Кияев В. И. Информационные технологи: открытые системы, сети, безопасность в системах и сетях: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010, 267 с.
- [2.11] Михайлов А. Н. Основы проектирования и автоматизации производственных процессов на базе технологий непрерывного действия. Донецьк: Дон НТУ, 2006, 421 с.
- [2.12] Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981, 488 с.
- [2.13] Норенков И. П., Маничев В. Б. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры. М.: Высш. шк., 1983, 272 с.

- [2.14] Овчинников В. А. Математические модели объектов задач структурного синтеза // Наука и образование. 2009, № 5.
- [2.15] Пальчевський Б. О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів). Навчальний посібник. Львів: Світ, 2007, 392 с.
- [2.16] Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч.посібник. Львів: Світ, 2001, 232 с.
- [2.17] Пальчевський Б. О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування. Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2012, 576 с.
- [2.18] Пальчевський Б. О., Крестьянполь О. А. Проектування транспортно-технологічних схем пакування// Упаковка, №5, 2004, с. 24–27.
- [2.19] Пономарев В. М., Лескин А. А., Смирнов А. В. Принципы автоматизированного проектирования технологических структур гибких автоматических производств // Системы автоматизации в науке и пр-ве. М., 1984, с. 209–217.
- [2.20] Кузнецов С. Открытые системы, процессы стандартизации и профили стандартов. Электронный ресурс.
- [2.21] Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. К.: Техника, 1975, 768 с.
- [2.22] Зеленова Т.И. Крайслер, Форд и Дженерал Моторс: концепция архитектуры контроллеров для автомобильной промышленности (по заказу Ассоциации VERA+, Москва): <http://www.mka.ru/?p=40882>
- [2.23] Krestianpol E. Information software for design fltxible manufacturing systems // Технологічні комплекси: Науковий журнал. Луцьк: Луцький НТУ, 2013, №2(8), с.169–176.
- [2.24] Krestianpol E. Information Aspects of Optimisation Synthesis of technological flexibles systems // IV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Wiedza i zarzadzanie przedsiewzieciami w inzynierii produkcji "INTELTRANS 2013" [ed. Piotr Gibas, Małgorzata Trompeteur, Paweł Wojakowski]. Krakow: Politechnika Krakowska, 2013, p. 170–182.
- [2.25] Palchevskiy B. Intelktualny system komputerowo wspomaganego projektowania urządzeń technologicznych, IV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Wiedza i zarzadzanie przedsiewzieciami w inzynierii produkcji "INTELTRANS 2013" [ed. Piotr Gibas, Małgorzata Trompeteur, Paweł Wojakowski]. Kraków: Politechnika Krakowska, 2013, p. 155–170.
- [2.26] Gola A., Świć A., Computer-Aided Machine Tool Selection for Focused Flexibility Manufacturing Systems Using Economical Criteria, Actual Problems of Economics, No. 10 (124) 2011, p. 383–389.
- [2.27] Borkowski S., Ulewicz R., Zarządzanie produkcją. Systemy produkcyjne, Oficyna Wyd. „Humanitas”, Sosnowiec 2009.
- [2.28] Gola A., Świć A., Komputerowo wspomagany dobór obrabiarek w ESP części klasy korpus z wykorzystaniem systemu <<OPTSELECT>>, [w:] R.Knosala (red.) Komputerowo zintegrowane zarządzanie. Tom 1, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011, s. 433–443.
- [2.29] Gola A., Economical Aspects of Manufacturing Systems Design, Actual Problems of Economics, No. 6 (156) 2014, p. 205–212.
- [2.30] Danilczuk W., Cechowicz R., Gola A., Analiza konfiguracji linii produkcyjnych na podstawie modeli symulacyjnych [w:] Bzdyra K. (red.), Informatyczne Systemy Zarządzania. Tom 5, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2014, s. 25–42.
- [2.31] Banaszak Z., Jampolski L.S., Komputerowo wspomagane modelowanie elastycznych systemów produkcyjnych, WNT Warszawa 1991.
- [2.32] Plinta D., Więcek D., Production systems design, Wyd. Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała 2012, 122 s.
- [2.33] Charczenko A., Świć A., Taranenko W., Obrabiarki i urządzenia technologiczne w produkcji elastycznej, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2011, 299 s.

3. FUNKCJONALNE PROJEKTOWANIE ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

3.1. Problemy technologicznego przygotowania produkcji

Technologiczne przygotowanie produkcji (TPP) – to całokształt środków zapewniających zabezpieczenie technologiczne produkcji, czyli dokumentację konstrukcyjną i technologiczną oraz środki wyposażenia technicznego niezbędne do wykonania wyrobów o określonych wskaźnikach techniczno-ekonomicznych. TPP obejmuje [3.9]:

- zapewnienie technologiczności wyrobu (technologiczności konstrukcji wyrobu oraz technologiczności wykonania prac w trakcie jego produkcji, eksploatacji i naprawy),
- projektowanie procesów technologicznych (obróbki mechanicznej, montażu, tłoczenia, odlewania, obróbki cieplnej itd.) produkcji części oraz zespołów wyrobu, jak również oprogramowania na obrabiarki sterowane numerycznie,
- projektowanie i produkcja niezbędnego nietypowego wyposażenia i środków osprzętu technologicznego (urządzeń, form tłocznych, tłoczników, specjalnych narzędzi skrawających oraz pomiarowych),
- zarządzanie procesami TPP.

Technologiczność konstrukcji jest oceniana ilościowo za pomocą zestawu charakterystyk, obejmujących wskaźniki pracochłonności produkcji, zużycia materiałów, technologicznych kosztów własnych, współczynników wykorzystania materiałów, zastosowania typowych procesów technologicznych, standaryzacji oraz unifikacji [3.31].

TPP jest najdłuższym z etapów w procesie powstawania nowych rodzajów wyrobów i może być realizowane przez jedno lub kilka przedsiębiorstw, zależnym od złożoności wyrobu, struktury produkcji przemysłowej oraz możliwości przedsiębiorstw.

W celu doskonalenia struktur organizacyjnych przedsiębiorstw należy rozpatrywać ich działalność nie z punktu widzenia funkcjonowania ich wydziałów, a organizacji i przebiegu procesów biznesowych [3.8, 3.26, 3.30]. Nowa struktura organizacyjna firmy jest budowana w oparciu o zarządzanie procesami biznesowymi i zasobami produkcyjnymi. W odniesieniu do TPP do zasobów zalicza się nie tylko moce produkcyjne, lecz również niektóre usługi świadczone przez uczestników TPP. Do skutecznego wdrożenia mechanizmu świadczenia usług jest konieczne określone środowisko konkurencyjne. Jako kryteria wydajności w tym przypadku są stosowane terminy wykonania prac, ich wartość i jakość.

Usługi w podzielonym środowisku konkurencyjnym mogą być świadczone w przypadku określonej niezależności prawnej lub organizacyjno-gospodarskiej wykonawcy w jednolitej przestrzeni informacyjnej TPP. Tradycyjną hierarchiczną strukturę TPP można więc rozpatrywać jako strukturę utworzoną w oparciu o zasady tworzenia wirtualnego przedsiębiorstwa [3.8]. Uczestnikami wirtualnego przedsiębiorstwa mogą być dowolne organizacje, które świadczą niezbędne rodzaje usług w warunkach konkurencji.

Czas technologicznego przygotowania oraz poziom organizacyjno-techniczny produkcji można znacząco zmniejszyć dzięki unifikacji technologicznej, która zakłada:

- typizację operacji i procesów technologicznych oraz zastosowanie grupowej metody obróbki,
- wykorzystanie w TPP unifikacji technologicznej, umożliwiającej istotne zwiększenie jej skuteczności w przypadku produkcji indywidualnej, małoseryjnej i seryjnej.

Jednak najbardziej skutecznym kierunkiem, umożliwiającym skrócenie terminów opracowania i produkcji nowych rodzajów wyrobów przemysłowych oraz polepszenie ich jakości jest automatyzacja TPP.

3.1.1. Kierunki badań technologicznego przygotowania produkcji

Badanie dowolnego systemu złożonego zakłada, że jest opracowana koncepcja tego systemu oraz mechanizm analizy, odpowiadający warunkom rzeczywistym. Pierwszy warunek określa kierunek, cel i strategię badania, a drugi – plan przeprowadzenia analizy. Współczesny rozwój ESP, który niewątpliwie należy zaliczać do złożonych systemów wielocelowych przyczynił się do zaostrzenia tego problemu, ponieważ nowy typ systemów złożonych wymaga sformułowania swoich koncepcji, a każdy badacz stosuje najwłaściwszy dla siebie mechanizm analizy.

W produkcji rzeczywistej problem analizy systemów złożonych ulega nasileniu w związku z wieloznacznością właściwości obiektów ESP i stosunkowo małym znaczeniem każdego z nich oddzielnie. Całościowa (kompleksowa) analiza problematyki już na początkowych etapach opracowania jest realizowana w ramach technologicznego przygotowania produkcji – TPP. Poszukiwania sposobów zwiększenia wydajności wdrażania wyrobów do produkcji sprowadzają się więc do badania procesów TPP.

Akcentując wagę tej problematyki należy podkreślić, że początkowe etapy opracowania wyrobów w warunkach ESP są z reguły realizowane w warunkach nieokreśloności, braku potrzebnych do opracowania danych wyjściowych oraz innych wiarygodnych informacji [2.23, 3.29].

W przypadku procesu produkcji wyrobów w budowie maszyn, mikroelektronice, przemyśle opakowań itd., można wprowadzić następujące wymagania:

- podział roboczej strefy produkcji wyrobów na strefy obróbki i obsługi,
- nieracjonalność obecności człowieka, jako destabilizującego ogniwa w strefie obróbki,
- celowość przedstawienia procesu pracy, jako sumy minimalnej liczby operacji,
- pierwszeństwo równoległego charakteru obróbki i transportu wyrobów, na przykład na podstawkach, w kasetach, w blokach itd.

Występują przy tym zasadnicze problemy analizy obiektów produkcji jak: wybór metody dekompozycji wyrobu złożonego, określenie kolejności wykonania operacji technologicznych, optymalny przydział operacji do stanowisk roboczych, racjonalna organizacja prób systemu w warunkach dużej i stosunkowo niestabilnej ilości powiązanych ze sobą parametrów [3.28,3.32].

Problem podjęcia decyzji konstrukcyjno-technologicznych w warunkach nieokreślonego charakteru danych wyjściowych oraz specyfiki ich wykorzystania, jak również braku możliwości budowy modeli a priori, wymaga zastosowania określonego aparatu logicznej analizy obiektu przy zastosowaniu intuicji jako formy wykorzystania zgromadzonego i uogólnionego doświadczenia badacza. Odpowiednio do zaleceń [3.8] można określić trzy kierunki badań.

Pierwszy kierunek – problem dekompozycji. Złożony charakter jego rozwiązania, oprócz aktualnego problemu złożoności jako kategorii filozoficznej, polega na zakłóceniu kolejności formalizacji wyobrażeń o systemie. Z reguły jest naruszana zasada kolejności detalizacji – każdemu krokowi detalizacji ma towarzyszyć uzyskanie dodatkowych niezbędnych informacji. W praktyce inżynierskiej formalizacja krok po kroku zwykle jest zamieniana na podobny proces integracyjny, którego skuteczność zależy od zdolności badacza. Zasada pełnej konsekwentnej detalizacji jest naruszana z powodu braku mechanizmu konsekwentnej formalizacji. Istniejący stosunek do formalizacji, który obiektywnie tworzy całość powiązanych ze sobą chwytów konsekwentnej dekompozycji nie pozwala w należyty sposób organizować procesu dekompozycji obiektu złożonego.

Drugi kierunek – określenie kolejności operacji procesu technologicznego w warunkach ESP. W każdym konkretnym przypadku przekształcenie się półwyrobu w wyrób odbywa się w toku wykonania określonych operacji technologicznych. Z powodu braku ścisłego matematycznego modelu wyrobu i opisu matematycznego procesu jego produkcji nie da się jednoznacznie a priori określić kolejności operacji technologicznych. Jako kompensację niepełnego analitycznego opisu systemu można wykorzystywać jego rysunek graficzny

w postaci schematów transportowo-technologicznych. Wiadomo, że symbolika graficzna zapewnia lepsze zrozumienie systemu w stosunku do najbardziej szczegółowego opisu słownego, ponieważ zapewnia wykorzystanie wiedzy badacza.

Przedstawienie złożonego obiektu w postaci graficznej zapewnia skoncentrowane odzwierciedlenie technologii, organizacji, w tym materiałowo-technicznego zaopatrzenia produkcji w realnej kolejności operacji produkcyjnych. W przypadku określenia zakresu zadań, można postawić pytania i poszukiwać odpowiedzi odnośnie budowy modeli, optymalizacji wyboru rozwiązań w warunkach konkretnej produkcji. W tym celu podstawowe elementy zautomatyzowanego układu sterowania muszą zawierać odpowiednie środki automatyzacji: informacyjne, matematyczne, techniczne, programowe, organizacyjne. Można określić pewne zasady, które należy przestrzegać w celu zapewnienia stabilności podejmowanych rozwiązań na każdym ze stopni detalizacji:

1. Istota TPP jest opisywana modelem systemu transportowo-technologicznego oraz potokami materiałowymi i informacyjnymi w ESP;
2. System transportowo-technologiczny ma obejmować i modelować trzy składniki środowiska produkcyjnego: produkcję półwyrobów z uwzględnieniem zaopatrzenia materiałowo-technicznego, technologiczny zespół produkcji wyrobu oraz dziedzinę wykorzystania;
3. Stopień doskonałości ESP określa system transportowo-technologiczny. Wydajność systemu należy, więc określać z uwzględnieniem trzech składników środowiska produkcyjnego, a nie tylko urządzenia technologicznego (jak postępuje się najczęściej). Do charakterystyki procesów, zachodzących w systemie produkcyjnym należy i wystarczy opisać procesy, zachodzące w jego podsystemie transportowo-technologicznym;
4. Powiązane ze sobą produkcja, transport i magazynowanie w systemie produkcyjnym tworzą antynomię, której części w jednakowym stopniu wpływają na jego wydajność, skuteczność eksploatacji i obsługi;
5. W racjonalnie zorganizowanym systemie produkcyjnym bezwładność systemu transportowo-technologicznego, w ramach hierarchicznego poziomu zarządzania, ma pozostawać bez zmian. Zapewnia to synchronizację ogniw systemu;
6. W celu zapewnienia łączności między składnikami ESP jest zużywana energia, której ilość zależy od konstrukcji składników ruchomych i jest proporcjonalna do odległości między nimi.

Trzeci kierunek – organizacja prób ESP jako systemu człowiek-maszyna z uwzględnieniem przyjętych ograniczeń. W odróżnieniu od programów i metod przeprowadzenia prób systemów technicznych, systemy społeczno-techniczne lub systemy człowiek-maszyna są badane bezpośrednio przez personel przygotowany do użytkowania i obsługi systemu w ramach odpowiedniego poziomu

hierarchicznego. Wymaga to opracowania określonego „scenariusza” prób wg poziomów struktury systemu sterowania z dołu w górę w przypadku każdego składnika lub grupy powiązanych ze sobą składników [3.5]. Przytoczona niżej tabela 3.1 ułatwia opracowanie „scenariusza” dzięki określeniu powiązań między poziomami zarządzania i składnikami systemu.

Tab. 3.1. Powiązania między poziomami zarządzania a składnikami systemu sterowania

Przeznaczenie interfejsu	Zespół środków automatyzacji				
	Zaopatrzenie				
	Informacyjne	Matematyczne	Techniczne	Programowe	Organizacyjne
Dyrektywa kierownika					+
Pulpit pomocnika	+		+		+
Dział koordynacji	+		+	+	+
Punkt gromadzenia danych	+		+		+
Język komunikatu	+	+	+	+	+

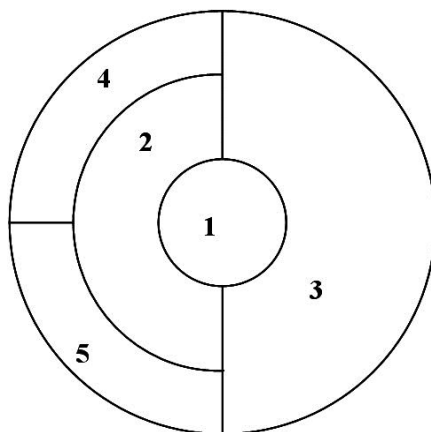
3.1.2. Wstępna analiza produkcji

Pierwszym krokiem na drodze automatyzacji produkcji jest jej wstępna analiza konieczna do przeprowadzenia dokładnej analizy techniczno-ekonomicznej opcji automatyzacji w celu wyboru najbardziej wydajnych projektów, środków automatyzacji, systemów technologicznych, sprzętu, systemów sterowania, odpowiadających wymaganiom i warunkom określonej produkcji.

Badania muszą być wykonane przez zespół specjalistów-ekspertów wg rodzajów produkcji odpowiednio do klasyfikacji określonej przez obowiązujące metody oceny poziomu technicznego. W celu zapobiegania dysproporcjom mocy produkcyjnych wg rodzajów produkcji przy tworzeniu ESP należy przeprowadzać kompleksowe badania wszystkich powiązanych rodzajów produkcji i prac. W poszukiwaniu prawidłowych sposobów automatyzacji produkcji ważna jest dokładna analiza planów produkcji, procesów technologicznych, możliwości racjonalizacji konstrukcji wyrobu oraz dokładne określenie zadania. Należy także sprawdzić, czy analiza obejmowała cały kompleks warunków technologicznych oraz organizacyjnych.

Istnieje błędna praktyka częściowej automatyzacji ukierunkowanej na jedną operację, która wydaje się najważniejsza. Automatyzacja całego systemu jest o wiele bardziej skuteczna. W tym celu należy dokładnie przebadać nie tylko operację centralną, lecz również operacje poprzednią i następną: ich wzajemne powiązania, określić przyczyny i miejsca zatrzymania prac, zbędne straty czasowe oraz określić możliwość ich usunięcia. Określone są sposoby zwiększenia wykorzystania istniejącego wyposażenia, a zatem rozpatrywane kwestie automatyzacji zgodnie z zaplanowanymi przedsięwzięciami.

Analiza prace robotników pokazuje, że zbędne, niepotrzebne straty czasowe są bardzo duże – 40–50% czasu pracy (rys. 3.1) [3.17].



Rys. 3.1. Praca i straty czasowe: 1 – ruchy robotnika, 2 – praca, 3 – straty czasowe, 4 – operacje podstawowe, 5 – operacje pomocnicze

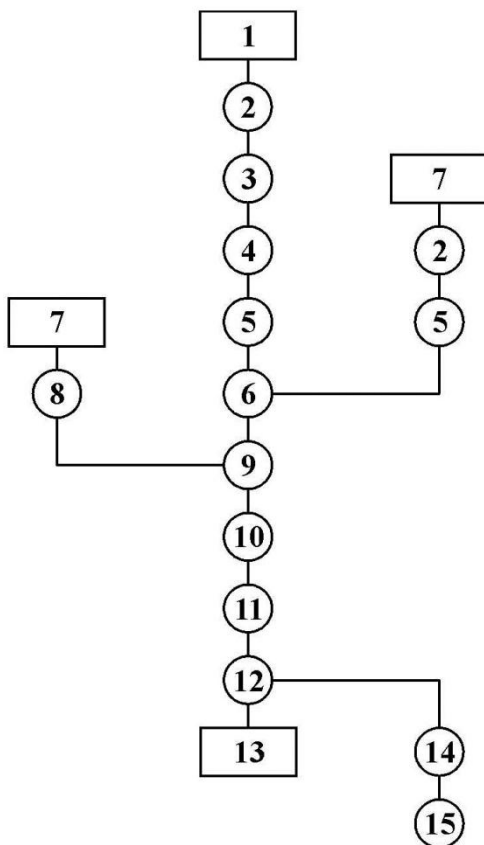
Czas jest tracony na poszukiwanie potrzebnych narzędzi, urządzeń, oczekiwanie, bezsensowne chodzenie oraz inne czynności. W procesie technologicznym obok operacji podstawowych i niezbędnych pomocniczych występują również zbędne operacje, zwiększające koszty produkcji. Likwidacja takich operacji, zwiększenie udziału pracy w czynnościach podstawowych, zmiana kolejności i sposobu wykonania prac podstawowych umożliwia zwiększenie wydajności urządzeń technologicznych i oznacza racjonalizację produkcji.

Takie udoskonalenie produkcji prawie nie generuje kosztów i umożliwia uzyskanie znacznego efektu. Jeżeli niezbędne jest dalsze zwiększenie wydajności, a wyczerpaniu uległy rezerwy racjonalizacji produkcji, należy przejść do etapu modernizacji i automatyzacji wyposażenia rezerwując na to odpowiednie środki.

Inwestycje zwracają się już w procesie dokonywania racjonalizacji, czego nie można powiedzieć o automatyzacji wyposażenia, której koszty są o wiele większe.

Analiza procesów technologicznych polega na badaniu potoku części, wchodzącego do magazynu wyrobów i ocenie warunków ich obróbki. Analizowane są przy tym: konieczność wymiany materiałów i części w procesie produkcji, rodzaje potoków oraz wzajemne powiązania operacji technologicznych.

Łącuch technologiczny można przedstawić w postaci graficznej przy wykorzystaniu oznaczeń umownych (rys. 3.2) [3.17].



Rys. 3.2. Przykład schematu czynnościowego procesu technologicznego:









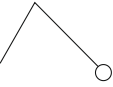




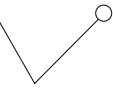




- 1 – magazyn materiałów, 2 – załadunek, 3 – transport, 4 – wyładunek,
- 5 – umieszczenie na paletcie, 6 – transport na linię, 7 – magazyn części,
- 8 – przemieszczenie do stanowiska pracy, 9 – obróbka (skrawanie),
- 10 – obróbka (wyginanie), 11 – montaż, 12 – operacje końcowe,
- 13 – wyrób gotowy, 14 – do kontenera, 15 – na wysypisko.

W procesie technologicznym wyróżnia się cztery podprocesy: obróbki, transportu, kontroli, magazynowania pośredniego. Do procesów obróbki zalicza się: obróbkę, łączenie lub rozłączanie półwyrobów, części, wyrobów, pakowanie.

Do procesów transportu zalicza się przemieszczanie półwyrobów, części i wyrobów z jednego miejsca do innego. Procesy kontroli to sprawdzanie jakości, ilości i odchylenia od norm półwyrobów, części, wyrobów; proces magazynowania pośredniego polega na umieszczeniu części, półwyrobów, wyrobów itd. w określonym miejscu lub pozostawienie w określonym miejscu części i materiałów, które wpłynęły do magazynu.

Wśród wyszczególnionych składników schematu transportowo-technologicznego procesy transportu, kontroli i magazynowania dodatkowo zwiększają wartość własną produkcji, z tego powodu ich liczba i pracochłonność powinna być minimalna.

Analiza procesu produkcji jest nakierowana na wykrycie strat czasowych oraz ulepszenie sposobu obróbki i warunków pracy. W tym celu zaleca się stosowanie kamer wideo, umożliwiających wykonanie dokładnego chronometrażu czasu pracy, oraz jego odtworzenie i analizę.

I grupa		II grupa		III grupa	
Symbole	Oznaczenia	Symbole	Oznaczenia	Symbole	Oznaczenia
	Iść z pustymi rękami		Sprawdzać		Oczekiwanie
	Brać coś		Przenosić		Odpoczynek
	Przenosić		Wykrywać		Spóźnienie, którego nie da się ukryć
	Łączyć się		Posiadać		
	Kierować		Poprzednie uwagi		Spóźnienie, które da się ukryć
	Rozłączać (rozdzielać)		Przemyślać		
	Puszcząć				
	Badać				

Rys. 3.3. Symbole ruchu i zachowania

Istnieją następujące sposoby analizy [3.17] :

1. Analiza przy pomocy oznaczeń elementów ruchu. Gilbers zaproponował umowne oznaczenia elementów ruchu i zachowania człowieka nazywane *servorikk*. Wykorzystując te symbole można przeprowadzać chronometraż i dalszą analizę. Symbole zostały pokazane na rys. 3.3.
2. Harmonogram człowiek – maszyna. Przy zastosowaniu takiego harmonogramu modelowana jest interakcja między człowiekiem i maszyną.
3. Harmonogram podziału czasu. Analiza graficzna ze współrzędną czasową, umożliwiającą wyciągnięcie wniosków o fizycznych zdolnościach robotnika.
4. Kompleksowe tabele analizy procesu produkcji. Znajdują zastosowanie do analizy prac wykonywanych przez kilku robotników.

Mierzony jest rzeczywisty czas pracy oraz czas prac o charakterze pomocniczym. Otrzymane dane znajdują zastosowanie do określenia normatywów czasu roboczego lub wolnego.

Określany jest współczynnik obciążenia w wyniku porównania czasu pracy oraz czasu wolnego. Czas jest określany w wyniku przeprowadzenia pomiarów i statystycznego opracowania przerw czasowych, powstałych w toku interakcji między człowiekiem a obrabiarką. Analiza umożliwia określenie wszystkich składników procesu pracy, w tym: podstawowego, standardowego pomocniczego, dodatkowego oraz innych. Na podstawie otrzymanych wyników można planować zwiększenie wydajności oraz współczynnika obciążenia wyposażenia w wyniku udoskonalenia zarządzania i organizacji pracy.

Kontrola procesów pracy umożliwia wykrycie przypadkowych okoliczności, wynikłych w trakcie wykonywania pracy. Czas i częstość ich występowania są odnotowane w formularzu nadzoru.

3.1.3. Automatyzacja technologicznego przygotowania produkcji

Opracowanie i przygotowanie produkcji złożonych, technologicznie zaawansowanych wyrobów to proces wymagający zaangażowania wielu specjalistów z jednego lub grupy przedsiębiorstw. Istotnie skrócić terminy przygotowania produkcji można tylko w jeden sposób – poprzez równoległą realizację prac i ścisłą współpracę wszystkich uczestników procesu. To zadanie można rozwiązać w wyniku automatyzacji technologicznego przygotowania produkcji.

Praca systemu zautomatyzowanego TPP (ZSTPP) jako jednolitego zwartego systemu zakłada funkcjonowanie wszystkich jego składników w jednolitej przestrzeni informacyjnej (JPI) TPP. Jest to jednolite komputerowe środowisko informacyjne realizowane przez środki systemu PDM, umożliwiające wspólną pracę konstruktorów, technologów oraz innych specjalistów w ciągu całego

okresu życia wyrobu. Duża ilość różnych rodzajów danych wykorzystywanych w ZSTPP wymaga określenia bazowego modelu danych. Tylko w tym przypadku można zbudować zunifikowane i skuteczne mechanizmy przechowywania i przetwarzania informacji. W toku wyboru bazowego modelu danych należy uwzględnić, że [3.9]:

1. ZSTPP jest tworzony i wykorzystywany przez dużą liczbę specjalistów, rozwiązujących różne zadania. Model danych, ma więc być zorganizowany w taki sposób, aby wszyscy specjaliści mieli dostęp do wszystkich danych i mogli w miarę konieczności wprowadzać zmiany.
2. Budowa ZSTPP jest procesem iteratywnym, a więc powinien dopuszczać wprowadzanie uściśleń i być odporny na zmiany obszaru przedmiotowego. Przy modyfikacjach obszaru przedmiotowego zmianie powinien ulegać tylko minimalny, niezbędny zestaw składników modelu.

Takim wymaganiom odpowiada podejście zorientowane obiektowo. Zorientowany obiektowo model danych zawiera następujące podstawowe pojęcia: obiekt, charakterystyki obiektu, powiązania między obiektami, charakterystyki powiązania. Charakterystykami obiektu mogą być dowolne atrybuty niezbędne do przedstawienia tego obiektu w toku rozwiązywania postawionych zadań przetwarzania informacji. Między obiektami są organizowane powiązania i określone charakterystyki tych powiązań. Charakterystyki powiązań nie zależą od charakterystyk łączonych obiektów.

Każdy wyrób lub dokument są przedstawiane jako samodzielne obiekty, które mogą być związane ze sobą czterema rodzajami powiązań, a cała informacja o obiekcie jest „rozłożona” na cztery „półki” modelu zorientowanego obiektowo: obiekt, charakterystyki obiektu, powiązanie obiektu z innymi obiektami oraz charakterystyki powiązania [3.9].

W ramach PLM-koncepcji znajdują zastosowanie zintegrowane modele informacyjne (bazy danych) wyrobów i procesów, w sposób adekwatny i pełny opisujących realny obiekt, jako jedyne źródło informacji. Dla użytkowników systemów informacyjnych – uczestników cyklu życia produkcji i procesów wykonywanych w toku cyklu życia produktu, informacja ta jest dostępna do dalszego opracowania w wymaganym czasie, w potrzebnej postaci i w konkretnym miejscu sieci komputerowej przedsiębiorstwa.

Jednym z najbardziej ważnych i odpowiedzialnych etapów przy budowaniu JPI jest opracowanie systemu klasyfikacji obiektów informacyjnych, w przypadku którego podstawowym wymaganiem jest zgodność z celowymi funkcjami TPP przedsiębiorstwa. Klasy obiektów oraz ich charakterystyki są określane w toku tworzenia ZSTPP.

Klasyfikacja obiektów informacyjnych może być wykonana na różne sposoby. W trakcie budowania systemu klas należy dążyć do tego, aby unikać dublowania informacji, ułatwić pracę użytkownika oraz przyspieszyć wyszukiwanie danych przy dokonywaniu zapytań. Uwzględnienie wszystkich tych czynników, pod warunkiem zgodności modelu danych z warunkami celowymi TPP przedsiębiorstwa, wymaga dobrego zrozumienia mechanizmów przechowywania i przetwarzania danych, jak również znajomości systemu zarządzania danymi o wyrobie – PDM (Product Data Management).

Podstawowe przeznaczenie systemu PDM to utworzenie jednolitej przestrzeni danych cyfrowych o wyrobie, udoskonalenie i ułatwienie dostępu do nich uczestnikom cyklu życia produktu. Najbardziej rozpowszechnione zadania rozwiązywane przy pomocy systemu PDM to [3.11]:

- utworzenie elektronicznego archiwum rysunków oraz innej dokumentacji technicznej,
- utworzenie JPI dla wszystkich uczestników cyklu życia wyrobu,
- automatyzacja sterowania konfiguracją wyrobu,
- budowa systemu jakości wyrobów zgodnie z międzynarodowymi normami jakości serii ISO 9000.

System PDM zarządza wszystkimi procesami informacyjnymi związanymi z wyrobem: projektowaniem wyrobu, technologią jego produkcji, jak również całą informacją o wyrobie – jego strukturą, danymi geometrycznymi, rysunkami, planami projektowania i produkcji, dokumentami normatywnymi, oprogramowaniem obrabiarek NC, wynikami analizy, korespondencją, danymi o partiach, poszczególnych egzemplarzach wyrobu itd.

Użytkownikami systemu PDM mogą być wszyscy pracownicy przedsiębiorstw-uczestników cyklu życia produktu: konstruktorzy, technolodzy, pracownicy archiwum technicznego, jak również pracownicy, którzy pracują w innych dziedzinach przedmiotowych (zbyt, marketing, dostawy, finanse, serwis, eksploatacja itp.). Główne zadanie systemu PDM to udostępnienie pracownikowi potrzebnej informacji we właściwym czasie i w dogodnej formie (zgodnie z uprawnieniami dostępu).

Konstruktorzy, technolodzy oraz inni specjaliści nie tylko otrzymują informacje o wyrobie, lecz także ją uzupełniają tak, aby na bieżąco mogły korzystać z niej różne służby przedsiębiorstwa. Informacja o wyrobie jest także wykorzystywana przez wydziały serwisowe do obsługi planowej oraz użytkownika do konfigurowania gotowych wyrobów do specyficznych potrzeb, a także przez personel inżynierski do modernizacji i produkcji nowego wyrobu na podstawie już zaprojektowanego.

System PDM występuje jako środek integracji wielu zautomatyzowanych systemów stosowanych w przedsiębiorstwie: (CAD / CAM / CAE / CAPP / ERP / MRP) dzięki gromadzeniu informacji, która jest przekazywana od nich do jednolitego modelu logicznego poprzez standardowe interfejsy interakcji.

Funkcje systemu PDM można podzielić na kilka grup [3.11]:

- Zarządzanie archiwum informacji. Wszystkie dokumenty w systemie PDM są przechowywane w postaci elektronicznej w specjalnym podsystemie – archiwum elektronicznym, które zapewnia jednolitość danych, organizuje do nich dostęp użytkowników zgodnie z udzielonymi uprawnieniami i pozwala na ich wyszukiwanie;
- Zarządzanie procesami. System PDM występuje jako środowisko pracy użytkowników i śledzi wszystkie ich czynności, w tym wersje tworzonych przez nich danych. Oprócz tego, system PDM zarządza potokiem prac (na przykład w procesie projektowania wyrobu) i zajmuje się protokołowaniem czynności użytkowników i zmian danych;
- Zarządzanie strukturą wyrobu. System PDM zawiera informacje o strukturze wyrobu, jego realizacjach i konfiguracjach. Ważną specyfikacją jest występowanie kilku opisów struktury wyrobów do różnych dziedzin przedmiotowych (opis konstruktorski, technologiczny, marketingowy itd.), jak również zarządzanie zastosowaniem elementów wyrobu;
- Klasyfikacja. System PDM umożliwia klasyfikację wyrobów i dokumentów wg różnych klasyfikatorów. Może to wykorzystać do automatyzacji wyszukiwania wyrobów o niezbędnych charakterystykach w celu ich ponownego zastosowania lub w celu automatyzacji znakowania elementów wyrobu;
- Kunkcje pomocnicze, zapewniające interakcję systemu PDM z innymi środkami programowymi, z użytkownikami, a także interakcję użytkowników między sobą.

3.1.4. Technologiczne przygotowanie produkcji w wirtualnych rozproszonych strukturach produkcyjnych (RSP)

Rozwój zautomatyzowanego wytwarzania wymaga wprowadzenia głębokich zmian w całej produkcji, w tym w procesach produkcyjnych, technologicznych, w organizacji i zarządzaniu, a nie tylko częściowego przebrożenia poszczególnych składników systemu produkcyjnego. Rozwiązanie kwestii operatywnej reakcji produkcji na zmianę popytu, obniżenie wartości własnej przy istotnym skróceniu terminów produkcji i zapewnieniu jakości wyrobów wymaga opracowania szybkoprzezbrajalnych systemów produkcyjnych (SP), skrócenia czasu technologicznego przygotowania produkcji w warunkach zwiększonego asortymentu wyrobów i mniejszych partiach.

Zamiast stałych struktur organizacyjnych przedsiębiorstw przemysłowych o przedmiotowej specjalizacji pojawiają się wirtualne RSP. Są to rozproszone w czasie i przestrzeni systemy przedsiębiorstw o typie korporacyjnym, które składają się z głównego przedsiębiorstwa i przedsiębiorstw technologicznie specjalizowanych, których liczba i struktura zależy od rodzaju produkowanych wyrobów. Taka struktura jest kształtowana na cykl życia produktów, można ją łatwo zmienić w zależności od zapotrzebowania rynku i może być utworzona w maksymalnie krótkim terminie.

Przy produkcji wielu produktów różnego rodzaju stosowane jest tak zwane projektowanie wieloobiektowe. Wieloobiektowe projektowanie technologiczne w wirtualnym RSP zawiera: metodyki projektowania procesu technologicznego, metodykę generacji ewentualnych opcji konfiguracji wirtualnej RSP, metodykę przeprowadzenia weryfikacji wygenerowanych wariantów i wyodrębnienia najlepszych oraz metodykę podejmowania decyzji dotyczących zarządzania procesem konfigurowania RSP w czasie. W związku z tym, że podejmowanie decyzji odbywa się w oparciu o skomplikowane procesy twórcze, zarządzanie powinno być zarządzaniem inteligentnym [3.9].

Materialną podstawą RSP jest wyposażenie technologiczne, dysponujące określonym funduszem czasu wolnego, powstałego w wyniku niepełnego obciążenia systemu produkcyjnego w warunkach produkcji seryjnej, małoseryjnej lub jednostkowej. Podstawowe zadania rozwiązywane w trakcie tworzenia wirtualnego RSP to zarządzanie technologiczne i organizacyjne. Celem zarządzania technologicznego jest uzyskanie niezbędnych właściwości wyrobów, a zarządzania organizacyjnego tworzenie wirtualnego RSP do realizacji procesów technologicznych umożliwiających realizację zadania produkcyjnego, dynamiczna zmiana rozmieszczenia zasobów poszczególnych elementów RSP, synchronizacja w czasie wszystkich wolnych zasobów RSP oraz synchronizacja pracy RSP z otoczeniem.

Takie podejście powinno opierać się na standaryzacji dokumentacji projektowej, technologicznej oraz eksploatacyjnej, języków jej przedstawienia oraz integracji informacyjnej. Tylko w takim przypadku jest realna skuteczna praca, we wspólnym projekcie, różnych zespołów stosujących systemy CAD/CAM.

Przy tworzeniu wirtualnego RSP należy rozwiązać problemy związane z jego organizacją i zarządzaniem. Kształtowanie strumieni informacyjnych, podejmowanie w oparciu o nie decyzji zarządczych to skomplikowane procesy, które powinny przebiegać w maksymalnie krótkim czasie. Duża liczba parametrów wpływających na proces powzięcia decyzji, duża ilość obliczeń w toku modelowania wirtualnego RSP w czasie oraz ograniczoność czasu wymaga opracowania systemu zarządzania, działającego w zasadzie bez udziału człowieka.

Najlepiej tym wymaganiom odpowiadają inteligentne systemy sterowania, które mogą skutecznie wykonywać funkcje człowieka w trakcie przygotowania informacji wyjściowej, modelowania, analizy otrzymanej informacji oraz kształtowania informacji niezbędnej do rozwiązywania zadań w warunkach czasu rzeczywistego.

Organizacja wirtualnego RSP jest bezpośrednio związana z technologiczną zawartością realizowanych projektów. Technologiczne projektowanie w warunkach RSP przebiega wieloetapowo oraz iteracyjnie. Przy takim projektowaniu jest niezbędne kształtowanie informacji, zawierającej dane o obszarze przedmiotowym, strukturach obiektu istniejących oraz tworzonych, znanych i prognozowanych powiązaniach między elementami, a także właściwościami obiektu i otoczeniem. Realizowana jest wymiana strumieni informacyjnych, towarzyszących procesom projektowania technologicznego oraz organizacji wirtualnego RSP. Istnieje możliwość wyboru lepszej konfiguracji systemu w wyniku zmiany struktur projektowanych PT.

W projektowanym PT można wyodrębnić szereg poziomów hierarchicznych: opracowanie schematu zasadniczego PT przedstawiającego kolejność elementów operacji, projektowanie technologicznych dróg obróbki części, projektowanie operacji technologicznych, opracowanie oprogramowania sterującego wyposażeniem NC. W trakcie projektowania technologicznego są rozwiązywane zadania na wszystkich etapach PT: od otrzymania półwyrobu do odbioru gotowych wyrobów. Szczególną uwagę zwraca się na etap obróbki mechanicznej, jako najbardziej odpowiedzialny ze względu na jakość i pracochłonność produkowanych maszyn (przypada na nie 60–80% całkowitej pracochłonności produkcji wyrobów). W związku z tym są one decydujące dla całego cyklu produkcji maszyn [3.11]. Procesy projektowania PT, ich realizacja oraz zarządzanie nimi mogą być zrealizowane tylko w przypadku dostępności odpowiednich środków komputerowych, współpracujących z bazami danych (BD) oraz bazami wiedzy (BW), które są podstawą do informacyjnego funkcjonowania inteligentnego systemu.

Istotnie zmniejszyć zakres prac projektowych można dzięki technologii PLM, ponieważ opisy wielu wcześniej zaprojektowanych elementów sprzętu, maszyn i systemów są przechowywane w BD serwerów sieciowych, dostępnych dla każdego użytkownika technologii PLM. Technologie te zapewniają łatwość rozpowszechniania rozwiązań projektowych, możliwość wielokrotnego odtworzenia części projektu w nowych opracowaniach itd. Informacje o parametrach RSP w postaci elektronicznej można udostępniać za pomocą różnych sieci informacyjnych, w tym sieci globalnej Internet.

Jednym z podstawowych zadań konfiguracji przedsiębiorstwa wirtualnego jest zadanie realizacji zlecenia, tzn. wykonania pewnego zakresu prac przy wykorzystaniu określonych mocy (zasobów) technologicznych uczestników przedsiębiorstwa wirtualnego – potencjonalnych wykonawców zlecenia.

W celu jego realizacji należy określić mechanizm poszukiwania konkretnego producenta (wykonawcy zlecenia), jak również kryteria wyboru firmy spośród uczestników przedsiębiorstwa wirtualnego.

W ten sposób, w rozproszonym środowisku produkcyjnym projektant tworzy uniwersalny proces technologiczny, ponieważ nie posiada informacji o konkretnych dostępnych możliwościach, zasobach i wydajności. Taki wstępny proces technologiczny nazywa się zasobo-niezależnym procesem technologicznym (ZNPT) – wskazuje tylko na procedury konieczne do wytworzenia wyrobu. W toku opracowania ZNPT projektant określa, jakie zadania procesu technologicznego zostaną realizowane przez zewnętrznego producenta. Zależnie od parametrów konkretnego zamówienia odbywa się dobór wykonawców wśród uczestników przedsiębiorstwa wirtualnego [3.15].

Projektant opracowuje ZNPT odpowiednio dostosowany do konstrukcji wyrobu oraz określa zakres prac, które zostaną wykonane przez zewnętrznych wykonawców. Następnie o pojawieniu się na rynku nowych propozycji wykonania procesu technologicznego produkcji są zawiadamiani wszyscy potencjonalni producenci. Zatem są wybierani wykonawcy posiadający odpowiednie możliwości produkcyjne do wykonania tych prac. Przedsiębiorstwo-zleceniodawca przekazuje wybranym producentom ZNPT, który w tym przypadku staje się zasobo-zależnym procesem technologicznym (ZZPT).

W następnym kroku w toku negocjacji jest określany jeden wykonawca spośród listy wstępnie zakwalifikowanych do każdego zamówienia. Na podstawie otrzymanych danych jest opracowywany rozproszony proces technologiczny (RPT). Do konfigurowania zleceń TPP w rozproszonym środowisku wirtualnego przedsiębiorstwa można na przykład zastosować algorytm genetyczny [3.15].

3.2. Ogólne zasady projektowania procesu grupowego w warunkach produkcji elastycznej

3.2.1. Technologia grupowa

Jeden i ten sam wyrób może być produkowany według innych procesów, który składa się z różnych operacji technologicznych, a te z zabiegów. Operacje technologiczne i zabiegi muszą być realizowane według określonej kolejności, czyli są powiązane stosunkami pierwszeństwa. Mogą być wykonywane szeregowo lub równolegle na jednym lub kilku stanowiskach roboczych. We wszystkich tych wypadkach otrzymuje się inne warianty układów, których składnikami są elementarne działania, a łączniki odpowiadają relacjom między nimi. Pełne przeszukiwanie wariantów oraz analiza każdego z nich nie zawsze jest możliwa z powodu braku dokładnych kryteriów ich oceny.

W zależności od konkretnego wyrobu – programu produkcji jest opracowywany proces: indywidualny, typowy albo grupowy.

Proces grupowy znajduje zastosowanie w produkcji małoseryjnej i seryjnej. W tym przypadku jest projektowany jeden proces dla grupy wyrobów, według cech konstruktywnie-technologicznych wykonywanych na takich samych maszynach technologicznych przy zastosowaniu wspólnego oprzyrządowania i narzędzi.

Proces typowy opracowuje się na podstawie analizy, systematyzacji i uogólniania rozwiązań technologicznych, z uwzględnieniem osiągnięć w zakresie technologii wytwarzania określonego wyrobu oraz doświadczenia produkcyjnego, co umożliwia zastosowanie wysokowydajnych maszyn technologicznych, oprzyrządowania oraz środków automatyzacji i mechanizacji.

Wdrożenie w zakładzie zautomatyzowanego projektowania funkcjonalnego musi być poprzedzone wprowadzeniem w przedsiębiorstwie zunifikowanych rozwiązań technologicznych, klasyfikacji wyrobów (przysiędów, sprzętu i oprysiędowania). Działania takie są przeprowadzane z uwzględnieniem wyników obserwacji przedprojektowych. Poziom typizacji procesów technologicznych oraz unifikacja konstrukcji wyrobów w dużym stopniu określa pracochłonność technologicznego przygotowania produkcji w przedsiębiorstwie.

Typowy proces powinien być dostosowany do konkretnych warunków produkcyjnych, operacje technologiczne powinny być podobne i wykonywane w określonej kolejności w przypadku grupy wyrobów o wspólnych cechach konstrukcyjnych. Typowy proces można zastosować w przypadku posiadania niezbędnej o nim informacji, co jest zadaniem bardzo trudnym w przypadku braku odpowiedniej techniki komputerowej.

Metoda grupowa produkcji jest oparta o unifikację technologii, według której w przypadku grup wyrobów jednorodnych pod względem konstrukcyjnym i technologicznym, są określane podobne wysokowydajne metody obróbki przy zastosowaniu przezbrajanych środków produkcji. Metoda grupowa jest bezpośrednio powiązana z unifikacją rozwiązań konstrukcyjnych i jest ogniwem łączącym triady konstrukcja – technologia – produkcja.

Główne zadania, w przypadku metody grupowej, są zredukowane do: specjalizacji, koncentracji technologicznej oraz łączenia operacji podstawowych i pomocniczych. Metoda grupowa polega na klasyfikacji i grupowaniu według atrybutów klasyfikacji:

- części i mechanizmów,
- rodzajów prac i procesów,
- urządzeń i ustawień narzędziowych,
- dokumentów wejściowych-wyjsięciowych, służących do podtrzymywania przepływu elementów produkcji oraz stosunków produkcji.

Jeżeli w warunkach produkcji tradycyjnej wprowadzanie metod grupowych jest pożądane to przy automatyzacji produkcji, a zwłaszcza zastosowaniu ESP, metody grupowe stają się obowiązkowymi, życiowo koniecznymi, ponieważ określają efektywność ESP.

Przy grupowaniu jest wygodnie korzystać z „mechanizmu” analizy systemowej, umożliwiającej przy klasyfikacji stosowanie jednej bazy cech klasyfikacyjnych. Najbardziej rozpowszechnionym błędem przy klasyfikacji jest zmiana bazy, w tym przypadku w jednym klasyfikatorze są umieszczane cechy klasyfikacyjne o różnej przynależności, co nie zawsze jest proste do określania. Na przykład, rezystory to produkt pracy w przypadku wyrobów elektronicznych i przedmiot pracy /surowiec/ przy produkcji urządzeń. Lecz w obu przypadkach jest to substancja rzeczowa, a pojęcie „montaż radiowy” może oznaczać zarówno zjawisko, konstrukcję, jej element, jak też proces łączenia części radioelektronicznych. Należy więc uważać podczas klasyfikacji: przy opracowaniu kwalifikatora i przy korzystaniu z niego.

W odróżnieniu od produkcji tradycyjnej, proces w warunkach produkcji elastycznej musi spełniać szereg wymagań:

- części powinny charakteryzować się wyższym poziomem technologiczności, co umożliwia opracowanie programu sterującego obrabiarką, automatyzację pomocniczych operacji załadunku, magazynowania, transportu, kontroli itd.,
- stosować w większym stopniu metody obróbki grupowej typizację i unifikację rozwiązań technologicznych,
- dążyć do małej liczby operacji technologicznych poprzez tworzenie warunków technologicznych do maksymalnej koncentracji operacji,
- powinien być kompleksowy, aby umożliwić możliwie pełną obróbkę części w ESP,
- technologia powinna być wielowariantowa, co umożliwia efektywne wykorzystanie urządzeń technologicznych ESP oraz zapewnia ciągłość produkcji w przypadku zmiany warunków zewnętrznych lub uszkodzenia urządzenia.

Stosowanie metod obróbki grupowej jest koniecznym warunkiem osiągnięcia efektywności produkcji wieloasortymentowej. W tym celu należy zapewnić ciągły przepływ części, połączonych w grupę zgodnie z podobieństwem konstrukcyjno-technologicznym, przy przechodzeniu przez ESP. Liczba części w grupie oprócz podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego zależy również od ich ilości, niezbędnej do załadowania urządzenia. W odróżnieniu od produkcji niepotokowej realizowanej w gniazdach technologicznych, w warunkach produkcji elastycznej jest możliwa produkcja potokowa, wykonywana w ELP bez

ich przebrojenia lub przy minimalnych kosztach zautomatyzowania przezbierania w przypadku zmiany obiektu obróbki.

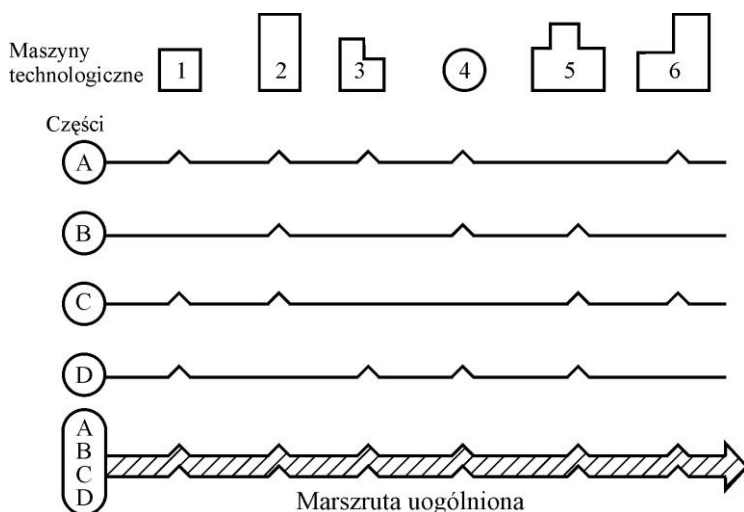
Wylimitowanie przezbierania lub znaczne skrócenie czasu jego wykonania daje możliwość unikania obróbki części partiami albo istotnie zmniejszyć wielkość partii. Informacja kodowana przy opracowywaniu marszrut technologicznych zawiera kody operacji oraz warunki logiczne. Całokształt warunków logicznych określa indywidualistyczną marszrutę technologiczną wyrobu, w tym kolejność operacji technologicznych oraz warunki ich przydziału do stanowisk roboczych.

Do komputerowo wspomaganego projektowania marszrut technologicznych niezbędne są główne dane wejściowe, zawarte zwykle na rysunku roboczym wyrobu.

3.2.2. Uogólniona marszruta technologiczna

Przy opracowaniu marszrut technologicznych należy określić kolejność i treść operacji technologicznych.

Uogólniona marszruta obróbki jest przedstawiona na rys. 3.4. Dla pewnej klasy (grup, podgrup albo rodzaju) wyrobów jest określana tak zwana uogólniona marszruta obróbki. Zawiera ona listę operacji obróbkowych, charakterystycznych w przypadku tej klasy, podklasy albo grupy wyrobów. Lista ta jest uporządkowanym zbiorem operacji rzeczywistych indywidualnych marszrut. Marszruty charakteryzują się typową kolejnością i treścią [3.19, 3.13].



Rys. 3.4. Formowanie uogólnionej marszruty dla części A, B, C, D na jednostkach 1–6 sprzętu

Niech istnieje zbiór marszrut indywidualnych M_1, M_2, \dots, M_n , gdzie $1, 2, 3, \dots, n$ – numery indywidualnych marszrut dowolnej klasy lub grupy wyrobów. Uogólniona marszruta M^* zawiera indywidualne marszruty M_i . Liczba połączonych marszrut dąży do maksimum, czyli uogólniona marszruta:

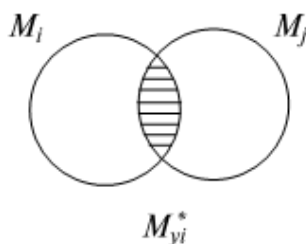
$$M_n^* = \bigcup_{i=1}^n M_i, n \rightarrow \max. \quad (3.1)$$

Połączenie marszrut charakteryzuje iloczyn zbioru $|M_{pol}|$ przy wchodzeniu do marszruty uogólnionej.

Ważną charakterystyką kształtowania uogólnionej marszruty jest moc iloczynu zbioru operacji $|M_{pol}|$ marszrut indywidualnych, czyli ilość jednakowych operacji, które wchodzi do tego iloczynu. Moc iloczynu w uogólnionej marszrucie musi dążyć do najwyższej wartości (rys. 3.5):

$$M^* = \bigcap_{i=1}^n M_i \rightarrow \max \quad (3.2)$$

Jest to główny warunek połączenia kilku marszrut indywidualistycznych w uogólnioną.



Rys. 3.5. Schemat iloczynu technologicznych marszrut M_i i M_j oraz obwodu iloczynu operacji o mocy M_{yi}

Uogólniona marszruta przedstawia więc zbiory iloczynów marszrut indywidualnych. Do iloczynu, przy połączeniu dwóch lub kilku marszrut, wchodzi operacje ekwiwalentne o takim samym kodzie i jednakowych warunkach mianowania. Wartości M_{nep} i M^* mogą służyć kryteriami do analizy i doskonalenia prac z zakresu typizacji procesu, czyli liczba operacji ekwiwalentnych w przypadku różnych wyrobów jednej grupy pozwala ocenić możliwość włączenia wyrobów do grupy, a także poziom przeprowadzonych prac z typizacji na przedsiębiorstwie.

Podczas tworzenia technologicznej marszruty obróbki należy wybrać z katalogów typowych operacji operacje spełniające wymagania jakości wyrobu, a zatem określić ich miejsce w marszrucie technologicznej. W przypadku każdej operacji określane są warunki jej włączenia do marszruty technologicznej.

Przy praktycznym zastosowaniu zautomatyzowanego projektowania marszrut technologicznych należy określić użyteczność warunków konstruktywnie-technologicznych w przypadku określonej klasy lub grupy wyrobów. Ze wzrostem poziomu typizacji i unifikacji wyrobów, uproszczeniu ulega proces projektowania wspomaganego komputerowo.

Po określeniu możliwości włączenia operacji do marszruty technologicznej należy określić kolejność realizacji operacji. Przy automatyzacji projektowania zadanie to jest rozwiązywane przez formowanie indywidualnych marszrut.

Marszruta uogólniona jest uporządkowanym zbiorem iloczynów marszrut indywidualnych. Marszruta uogólniona zawiera operacje obróbki, charakterystyczne w przypadku każdej klasy czy podklasy wyrobów, odpowiednio rozlokowane, co umożliwi tworzenie indywidualnych marszrut technologicznych w zależności od cech konstrukcyjnych i technologicznych konkretnych wyrobów.

Jeśli pod operatorem rozumie się kod operacji, to model matematyczny formowania uogólnionej marszruty można przedstawić w formalny sposób. Niech istnieje końcowy zbiór warunków $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_j\}$, wpływających na wybór operacji i charakter budowy marszrut, na przykład wymagania odnośnie dokładności wzajemnego rozmieszczenia powierzchni, minimalna chropowatość powierzchni itd. Liczba stanów w przypadku każdego konkretnego warunku jest równa $i = 1, 2, 3, \dots, n_i$ (na przykład różna chropowatość powierzchni). Istnieje zbiór operatorów $C = \{C_k\}$ (kodów operacji), gdzie $k = 1, 2, 3, \dots$. Warunki te (zakodowane) mogą w różny sposób być wzajemnie ze sobą powiązane.

Produkcja elastyczna charakteryzuje się realizacją kilku procesów technologicznych na jednym zestawie sprzętu technologicznego. Indywidualne procesy obróbki łączą się w jeden – uogólniony, a poszczególne operacje – w operacje grupowe. Do realizacji uogólnionej marszruty technologicznej jest konieczne, aby urządzenia 1–6 (rys. 3.6) i osprzęt technologiczny były przydatne do obróbki całej grupy wyrobów. Zależnie od stopnia zastosowania obróbki grupowej w uogólnionych marszrutach technologicznych wyróżnia się uogólnioną marszrutę z jedną grupową operacją (rys. 3.6 a), ze wszystkimi grupowymi operacjami (rys. 3.6 b), ze zmiennym składem grup operacji (rys. 3.6 c). W warunkach produkcji elastycznej pierwszy rodzaj procesów jest realizowany w automatycznych systemach technologicznych pracujących autonomicznie, na przykład: *EMP*, *ZKT*, drugi rodzaj procesów w *ELP*, a trzeci w *EGP* i *EOP* [3.13].

Przy tworzeniu uogólnionej marszruty wychodzi się z tego, że istnieje zbiór M_{TO} zawierający N operacji technologicznych, z których jest zestawiana marszruta, czyli:

$$M_{TO} = \{TO_i\}, i = 1, N \quad (3.3)$$

Pierwszą ważną cechą zbioru M_{TO} jest jego pełność. Cecha ta polega na tym, że w M_{TO} mieści się ilość operacji technologicznych, wystarczająca do opracowania dowolnego procesu technologicznego.

Drugą cechą zbioru M_{TO} jest jego nadmiarowość. Polega ona na tym, że jednakowe elementy wyrobu w danym zbiorze M_{TO} można uzyskać w różny sposób (przy zastosowaniu różnych operacji). Zbiór M_{TO} zapewnia więc z reguły utworzenie kilku alternatywnych procesów. Ta właściwość w istotny sposób wpływa na warunki zapewnienia elastyczności ESP.

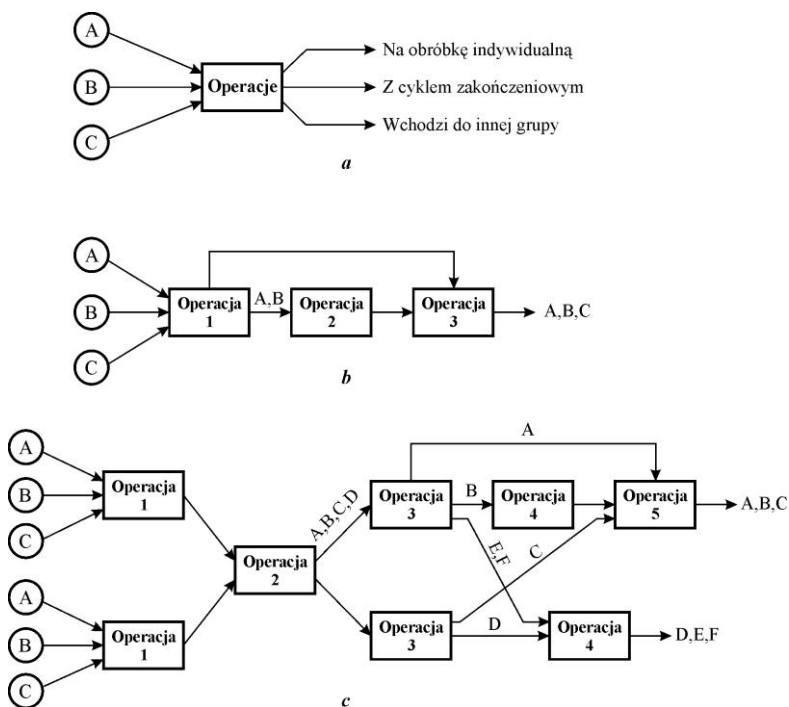
Wprowadza się kilka warunków dotyczących relacji między operacjami technologicznymi:

1. Dwie operacje technologiczne TO_m i TO_n są powiązane: TO_m „związana z” TO_n , jeśli istnieje chociażby jeden komponent wyjścia y_i jednej z operacji, taki, jak niektóre komponenty wejścia innej x_j , czyli, jeśli $\exists y_i : x_j : y_i \equiv x_j$, to $TO_m \Leftrightarrow TO_n$.
2. Dwie operacje technologiczne TO_m i TO_n znajdują się w stosunku: TO_m „poprzedza” TO_n , jeśli istnieje chociażby jeden komponent wyjścia y_{mi} pierwszej operacji, taki, jak pewien komponent wejścia drugiej x_{nj} , czyli, jeśli $\exists y_{mi} : x_{nj} : y_{mi} \equiv x_{nj}$, to $TO_m \pi TO_n$, gdzie π – stosunek pierwszeństwa.

Początkowymi danymi są asortyment wyrobów oraz liczba wyrobów każdego rodzaju, a także dokumentacja konstrukcyjna. W bazie danych systemu CAD określono niezbędną dokumentację normatywną (typowe procesy technologiczne, normy czasu itd.).

Projektowanie uogólnionej marszruty w przypadku grupy wyrobów określonego asortymentu może być wykonywane na dwa sposoby (rys. 3.10):

1. **Synteza technologiczna** marszruty uogólnionej, która obejmuje analizę indywidualnych procesów konkretnych wyrobów i włączenia tego samego typu operacji do grupowych, wykonywanych na jednym urządzeniu przy określonym poziomie przezbrojenia;
2. **Synteza wyrobu kompleksowego**, obejmująca analizę konstrukcji wyrobów określonego asortymentu, budowę wirtualnego wyrobu kompleksowego, zawierającego wszystkie elementy grupy wyrobów, opracowanie uogólnionej marszruty z grupowymi operacjami do obróbki wyrobu wirtualnego oraz wyodrębnianie procesów indywidualnych w przypadku każdego wyrobu określonego asortymentu.



Rys. 3.6. Organizacja obróbki grupowej w warunkach produkcji elastycznej:
a – jedna operacja grupowa wykonywana w ESP albo ZKT; b – operacje grupowe wykonywane w ELP; c – operacje o zmiennym składzie grup i różnych marszrutach technologicznych (EOP)

3.2.3. Procedury projektowania procesu technologicznego w warunkach produkcji elastycznej

W przypadku kiedy proces technologiczny jest budowany z operacji dopracowanych (wypróbowanych), wtedy często są stosowane procedury syntezy jego struktury. Podczas syntezy proces jest optymalizowany: określana jest liczba operacji technologicznych, poziom ich koncentracji oraz kolejność wykonania. Rozszerzenie zakresu poszukiwania lepszego wariantu procesu wymaga wygenerowania większej liczby możliwych wariantów jego struktury. W tym przypadku wzrasta pracochłonność analitycznej oceny wariantów procesu. Trzeba jednak dodać, że możliwości opracowania modeli w przypadku procedury optymalizacji strukturalnej procesu są ograniczone. Bardziej skomplikowane jest sformułowanie zadania w taki sposób by można go było poddać analizie matematycznej. Podczas analizy opcji struktury procesu należy uwzględnić potencjalne możliwości każdej z nich, czyli ocenić przydatność każdego wariantu.

Często są stosowane metody zmniejszenia zbioru wariantów struktury procesu poprzez nałożenie dodatkowych ograniczeń. W przypadku struktury procesów, których elementami są operacje czy działania, takimi dodatkowymi ograniczeniami są: pierwszeństwa określające kolejność operacji, przestrzenne powiązania wyznaczające stopień koncentracji obróbki itd.

Niewielka ilość informacji początkowej na wczesnych etapach projektowania ESP, wymaga poszukiwania modeli opisu struktury procesu, umożliwiających optymalizację przy minimum informacji początkowej. Z reguły, dane początkowe zawierają rysunki wyrobu i jego elementy składowe, wymagania odnośnie sposobu obróbki, grupę wyrobów planowaną, do obróbki w ramach uogólnionej marszruty, ogólne wymagania dotyczące ESP.

Zadanie polega na tym, aby na podstawie analizy rysunków grupy wyrobów, zaprojektować i określić optymalny wariant uogólnionej marszruty technologicznej określającej skład i kolejność operacji grupowych. Procedury te są podstawą funkcjonalnego projektowania ESP.

Projektowanie funkcjonalne ESP to budowa modelu funkcjonalnego ESP, umożliwiającego:

- opracowanie struktury uogólnionej marszruty technologicznej,
- racjonalne przydzielenie realizowanych w ESP operacji grupowych do poszczególnych maszyn technologicznych,
- wyznaczenie struktury procesu przeobrażania (rekonfiguracji),
- opracowanie schematu technologicznego ESP.

Realizowane przez ESPO funkcje można podzielić na trzy rodzaje: technologiczne, pomocnicze i zmiany ustawienia. Funkcje technologiczne implementują dany proces i określają kontrolę techniczną produktu; funkcje pomocnicze dotyczą przemieszczania, przechowywania i zliczania wyrobów, diagnostykę ESPO, usuwanie odpadów, itp.; a funkcje zmiany ustawienia umożliwiają dostosowanie ESPO do produkcji nowych wyrobów w określonym zakresie lub do nowych warunków pracy.

Funkcje realizowane przez ESP, zgodnie z ich przeznaczeniem, można rozdzielić na trzy rodzaje: technologiczne, pomocnicze i rekonfigurowania. Do technologicznych odnosi się funkcje umożliwiające realizację procesu i kontrolę techniczną stanu wyrobu; do pomocniczych – funkcje przemieszczenia wyrobów, ich magazynowania, diagnozowania stanu ESP, usuwania odpadów itd.; a do funkcji rekonfigurowania – zapewniające adaptację ESP do wytwarzania innej produkcji określonego asortymentu lub też do nowych warunków pracy.

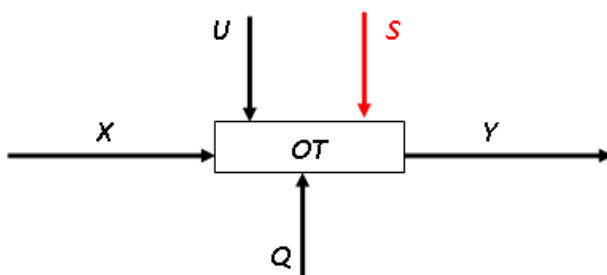
Model proceduralny grupowych operacji technologicznych można przedstawić schematycznie (rys. 3.7) oraz jako wektor [3.19]:

$$TO = \{X, Y, Q, U\}, \quad (3.4)$$

gdzie: X – wektor wejściowy składający się z zestawu parametrów $\{x_i\}, i = 1, n$,
 Y – wektor wyjścia składający się z zestawu parametrów $\{y_j\}, j = 1, m$,
 Q – środki techniczne niezbędne do realizacji operacji technologicznych,
 U – wektor sterowania operacją technologiczną dla zapewnienia Y ,
 S – wektor sterowania operacją zmiany ustawienia.

Z modelu proceduralnego operacji grupowej w ESPO widać, że musi ona spełniać nie tylko wymagania odnośnie wysokiej jakości produktów, ale także elastycznie się dostosowywać do wytwarzania, z określoną wydajnością, zbioru wyrobów.

Proces zmiany nastawień jest jednym z głównych w ESPO, charakteryzuje się podobnymi cechami jak proces technologiczny, tzn. posiada własne struktury, różne poziomy złożoności i automatyzacji oraz charakterystyki czasu trwania.



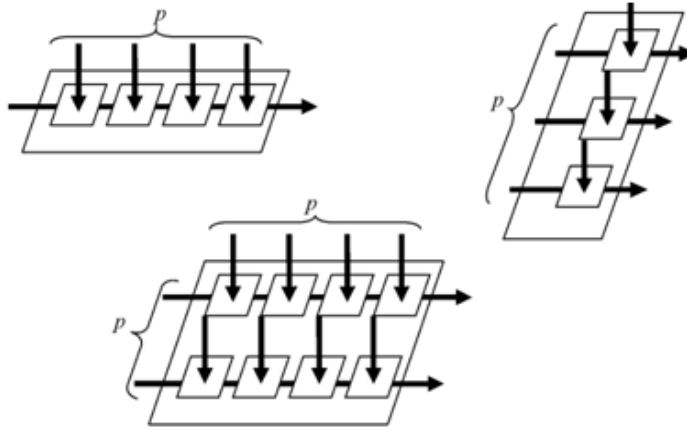
Rys. 3.7. Model proceduralny grupowej operacji technologicznej w ESP

Można wyodrębnić następujące źródła prowadzące do zmiany nastawienia ESPO:

1. Projektowe – zmiany w zakresie konstrukcji produktu (kształt, wielkość, właściwości powierzchni, właściwości fizyczne i mechaniczne, struktura itp.).
2. Technologiczne – zmiana metody, operacji technologicznych, struktury, metody kontroli.
3. Organizacyjne – zmiana metody przemieszczania, gromadzenia, przechowywania, kolejności partii wyrobów.

Rozmieszczenie technicznych środków realizacji procesów technologicznych i transportowych tworzy schemat technologiczny ESP. Schemat technologiczny zawiera operacje technologiczne oraz transportowo-manipulacyjne i pokazuje kolejność przemieszczenia wyrobów w strefie roboczej ESP.

Koncentrację operacji można osiągnąć w wyniku realizacji kilku operacji na jednej maszynie technologicznej, możliwą dzięki wprowadzeniu do jej struktury elementów funkcjonalnych, umożliwiających ich wykonanie. Po włączeniu do maszyny technologicznej kilku jednakowych elementów funkcjonalnych, realizujących identyczne funkcje techniczne, otrzymuje się maszynę technologiczną o działaniu równoległym [3.16]. Jeżeli w jednej maszynie technologicznej są elementy funkcjonalne odmienne i podobne, to otrzymuje się maszynę technologiczną o konsekwentnie-równoległym działaniu [3.16] (rys. 3.8).



Rys. 3.8. Warianty rozmieszczenia roboczych elementów funkcjonalnych w wielopozycyjnych maszynach technologicznych

3.2.4. Technologiczność wyrobów w warunkach warunków produkcji elastycznej

Celem opracowywania technologicznej konstrukcji wyrobu jest zwiększenie wydajności pracy oraz jakości wyrobu przy maksymalnym obniżeniu kosztów, czasu i środków na jego opracowanie, technologiczne przygotowanie produkcji, wykonanie, remont i eksploatację.

Technologiczność części wytwarzanych w warunkach produkcji elastycznej, należy oceniać pod kątem:

- ogólnych wymagań odnośnie części, umożliwiających zmniejszenie zakresu obróbki mechanicznej,
- możliwości uzyskania niezbędnej elastyczności produkcji,
- możliwości automatyzacji wytwarzania części.

W ocenie technologiczności konstrukcji wyodrębnia się ocenę jakościową i ilościową. Ocena jakościowa poprzedza ilościową i charakteryzuje technologiczność w sposób ogólny, odpowiednio do doświadczenia wykonawcy.

Przy ocenie technologiczności konstrukcji części można wyodrębnić kilka etapów [3.13]:

- Określa się główne elementy konstrukcyjne i powierzchnie części, wpływające na jakość funkcji roboczych wyrobu w warunkach jego eksploatacji.
- Określa się technologiczność głównych powierzchni i elementów konstrukcyjnych części.
- Wyznacza się technologiczność pozostałych powierzchni i elementów konstrukcyjnych.
- Określana jest celowość zmian w konstrukcji wyrobu przy zastosowaniu oceny porównawczej wskaźników bazowych ilościowych oraz konstrukcji modyfikowanych (czyli zmienionych przy określaniu technologiczności).
- Ilościowa ocena technologiczności daje możliwość wyznaczenia celowości zmian jakościowych w konstrukcji wyrobu. Do oceny ilościowej stosuje się wskaźniki główne i dodatkowe.

Do głównych wskaźników technologiczności zalicza się: pracochłonność, materiałochłonność i energochłonność wyrobu, które charakteryzują odpowiednio koszty pracy, materiałów i zasobów paliwowo-energetycznych, niezbędnych do produkcji, remontu i eksploatacji wyrobu. Do wskaźników głównych zalicza się również koszt własny wyrobu, który odzwierciedla koszty pracy, materiałów oraz zasobów paliwowo-energetycznych niezbędnych do wytwarzania, remontu i eksploatacji wyrobu – jest to tzw. uogólniony główny wskaźnik technologiczności.

Pracochłonność absolutną wyrobu T_a określa się jako sumę godzin, zużytych na produkcję wyrobu, realizowaną według procesów technologicznych:

$$T_a = \sum_i T_i, \quad (3.5)$$

gdzie: T_i – pracochłonność wykonania i -go elementu wyrobu w analizowanym zakresie (przetwarzanie, zbieranie, obsługa techniczna itd.), w godzinach.

Pracochłonność względną wyrobu T_w określa się, jako iloraz dwóch wielkości pracochłonności, gdzie w liczniku zawiera część pracochłonności ogólnej, a mianownik ogólną pracochłonność wyrobu. Pracochłonność względną obróbki mechanicznej, na przykład $T_{w-o.m.}$, oblicza się jako stosunek pracochłonności obróbki mechanicznej wszystkich części, wchodzących do wyróbu $T_{o.m.}$ do ogólnej pracochłonności produkcji wyrobu T_a :

$$T_{w-o.m.} = \frac{T_{o.m.}}{T_a}. \quad (3.6)$$

Materiałochłonność wyrobu charakteryzuje się ilością zużytego materiału do produkcji wyrobu oraz jego eksploatacji i jest określana w jednostkach masy.

Energochłonność wyrobu charakteryzuje ilość zużytych zasobów paliwowo-energetycznych do jego wyrobu albo eksploatacji.

Koszt własny wyrobu odzwierciedla koszty pracy, materiałów i zasobów paliwowo-energetycznych zużytych do produkcji i eksploatacji wyrobu. Do oceniania technologiczności wyrobu znajduje zastosowanie koszt własny technologiczny, przy czym elementy kosztów, jednakowe w przypadku konstrukcji bazowych i modyfikowanych, do kosztu własnego technologicznego nie są wliczane.

Dokładna ocena poziomu technologiczności konstrukcji wyrobu, otrzymana w wyniku obliczenia wartości wskaźników głównych, wymaga uprzedniego opracowania procesu technologicznego. Dlatego przy ocenianiu technologiczności na początkowych i pośrednich etapach projektowania procesu są stosowane wskaźniki dodatkowe.

Dodatkowym wskaźnikiem technologiczności jest współczynnik unifikacji elementów konstrukcyjnych $K_{u.e}$, określane jako:

$$K_{u.e} = \frac{Q_{u.e.}}{Q_e}, \quad (3.7)$$

gdzie: $Q_{u.e.}$ – liczba zunifikowanych wymiarów elementów konstrukcyjnych,
 Q_e – ogólna liczba elementów konstrukcyjnych w wyrobie.

Podczas analizy technologiczności grupy, części do obróbki w warunkach produkcji elastycznej współczynnik unifikacji jest wyznaczany dla całej grupy:

$$K_{u.e}^G = \frac{Q_{u.e.}}{\sum_{i=1}^n Q_{e.i}} \quad (3.8)$$

gdzie: $K_{u.e}^G$ – współczynnik unifikacji elementów konstrukcyjnych grupy wspólnie obrabianych części,

$Q_{e.i}$ – liczba elementów konstrukcyjnych w i -tej części grupy,

$Q_{u.e}$ – liczba zunifikowanych wymiarów elementów konstrukcyjnych w grupie,

n – liczba wymiarów części w grupie.

Współczynnik zużycia materiału $K_{z.m}$ oblicza się jako stosunek masy gotowego wyrobu m i masy materiału niezbędnego do jego produkcji M :

$$K_{z.m} = \frac{m}{M} \quad (3.9)$$

Współczynnik dokładności obróbki K_T jest obliczany jako:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_m} \quad (3.10)$$

gdzie: A_m – średnia tolerancja wymiarów wyrobu:

$$A_m = \frac{1n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{19}} \quad (3.11)$$

gdzie: n_i – liczba wymiarów, których dokładność odpowiada i -tej tolerancji.

Współczynnik chropowatości powierzchni części K_{ch} wyznacza się jako:

$$K_{ch} = 1 - \frac{1}{B_m} \quad (3.12)$$

gdzie: B_m – średnia wartość parametru chropowatości Ra powierzchni części.

$$B_m = \frac{0,01 \cdot n_{0,01} + 0,02 \cdot n_{0,02} + \dots + 40 \cdot n_{40} + 80 \cdot n_{80}}{n_{0,01} + n_{0,02} + \dots + n_{40} + n_{80}} \quad (3.13)$$

gdzie: $n_{0,01}, \dots, n_{80}$ – liczba powierzchni części o chropowatości Ra .

Podczas rozpatrywania technologiczności konstrukcji części na początku są wprowadzane zmiany w jej konstrukcji bazowej, a zatem są wyznaczane wskaźniki technologiczności główne albo dodatkowe w przypadku konstrukcji bazowych i modyfikowanych. Porównanie uzyskanych wartości, umożliwia wyciągnięcie wniosku o celowości wprowadzania zmian w konstrukcji wyrobu. Porównywane są również otrzymane wartości dodatkowych wskaźników technologiczności z ich dopuszczalnymi wartościami przytoczonymi w literaturze. Przykładowo minimalne dopuszczalne wartości współczynnika unifikacji elementów konstrukcyjnych części $K_{u.e}=0,6$, współczynnika dokładności $K_T=0,8$, współczynnika chropowatości $K_{ch}=0,32$.

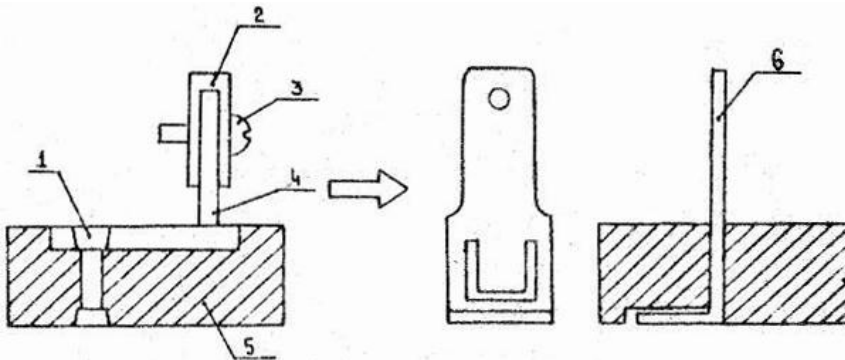
3.2.5. Przykłady podwyższenia technologiczności wyrobów dla warunków produkcji elastycznej

Przedstawione wyżej badania, należy koniecznie przeprowadzić przed rozpoczęciem procesu automatyzowania produkcji. Nie mniej ważne jest badanie złożoności kształtu wyrobu pod kątem jego automatyzacji. Jest to szczególnie istotne zagadnienie przy konieczności projektowania zautomatyzowanych urządzeń załadunku. Przydatność kształtu części do transportu automatycznego warunkuje sukces automatyzacji. Jeśli nie ma możliwości zmiany kształtu części, aby była możliwość automatyzacji jej transportu, należy zastosować o wiele bardziej złożone urządzenia załadunkowe lub też transport automatyczny jest niemożliwy.

Jeżeli automatyzowana produkcja jest już ustabilizowana to w tym przypadku zmiana nawet jednej części powoduje wiele dodatkowych poprawek. Ma to miejsce często przy automatyzacji już istniejącego urządzenia, w tym przypadku niezbędne zmiany należy wprowadzać przy współdziałaniu konstruktorów i innych służb, w innym przypadku automatyzacja transportu może nie być możliwa. Na etapie projektowania wyrobu technolodzy koniecznie muszą monitorować opracowanie i korygować konstrukcję. Powinno to umożliwić i ułatwić automatyzację procesu.

Główne wymagania jakie należy spełnić przy opracowywaniu wyrobów umożliwiających automatyzację to prostota i standaryzacja.

W celu unifikacji należy uprościć część i zmniejszyć asortyment wyrobów. Należy unikać skomplikowanych kształtów, na przykład w wyniku zamiany połączeń śrubowych (nakrętki, podkładki) na połączenia punktowe spawanie lub sklejanie [3.5].



Rys. 3.9. Przykład zmniejszenia liczby części: głowica składająca się z pięciu części została zastąpiona głowicą wykonaną metodą wyciągania, zmniejszeniu uległa liczba ilość części, a montaż stał się prostszy: 1 – nit, 2 – głowica, 3 – wkręt, 4 – głowica, 5 – podstawa, 6 – głowica mosiężna

Standaryzacja pozwala na znaczące zmniejszenie ilości typów części, co prowadzi do obniżenia kosztów oraz umożliwia automatyzację. W produkcji małoseryjnej można także stosować zasadę standaryzacji elementów i otworów mocujących.

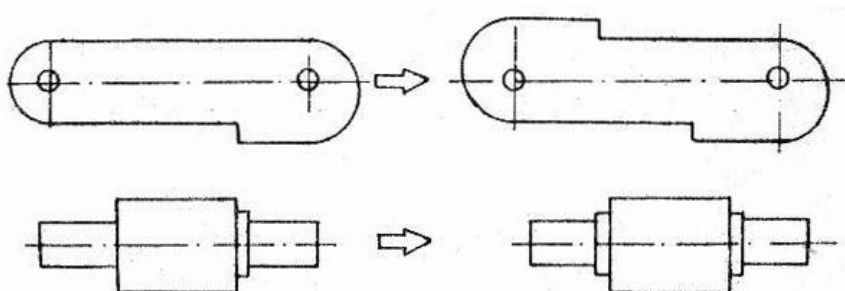
Przytoczone zostaną przykłady konstruowania wyrobów umożliwiające ich automatyzację.

1. Zmniejszenie liczby części w mechanizmie (rys. 3.9).

W wyniku połączenia kilku części w jedną zmniejsza się liczba operacji montażu. Można to osiągnąć przy zastosowaniu odlewania, tłoczenia oraz innych sposobów obróbki plastycznej. Zamiast połączeń gwintowych można zastosować zgrzewanie, spawanie punktowe, co również umożliwia zmniejszenie ilości operacji pomocniczych.

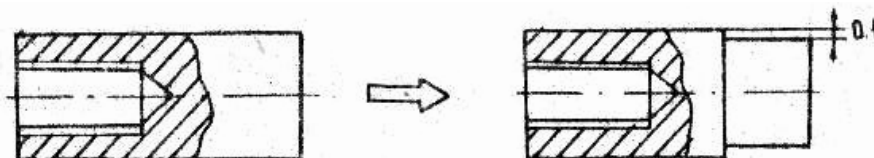
2. Konstrukcje wygodne do transportu,:

- a) symetryczność konstrukcji (rys. 3.10). Opracowując konstrukcje symetryczną, chociażby względem jednej osi, można znacznie uprościć orientację części przy załadunku. Czasami część wykonuje się jako bardzo niesymetryczną tak, aby środek masy był daleko od środka geometrycznego.



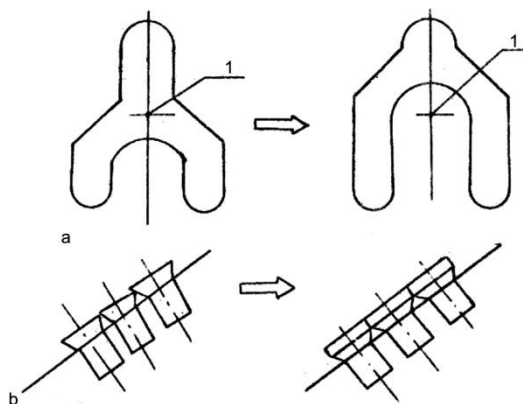
Rys. 3.10. Symetryczność jako sposób ułatwienia orientacji: zamiana kształtu niesymetrycznego względem osi na symetryczny

- b) ułatwienie łączenia części (rys. 3.11). W tym przypadku specjalną uwagę zwrócono na ułatwienie łączenia części.

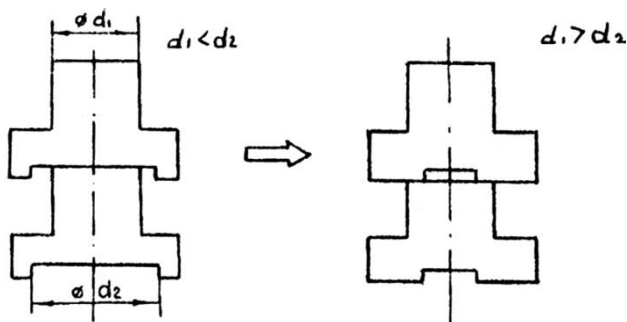


Rys. 3.11. Ułatwienie wstawki: do ułatwienia wyboru kierunku – średnica jednej części jest mniejsza

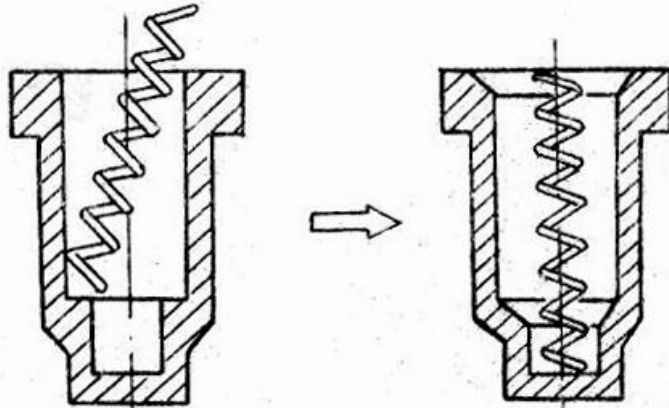
- c) Zwiększenie sztywności (rys. 3.12).
 Należy zabezpieczyć części przed możliwością ich przemieszczania się i przewracania w pojemniku.
- d) Ułatwienie rozdzielania części (rys. 3.13).
 W tym przypadku zadanie polega na tym, aby uniemożliwić przesuwanie się części, co umożliwi łatwiejsze ich rozdzielanie w zasobniku lub magazynie.



Rys. 3.12. Zwiększenie sztywności: a – zmiana położenia środka masy uniemożliwia kołysanie części: 1 – środek masy, b – zabezpieczenie części przed możliwością przemieszczania się przy pomocy paska

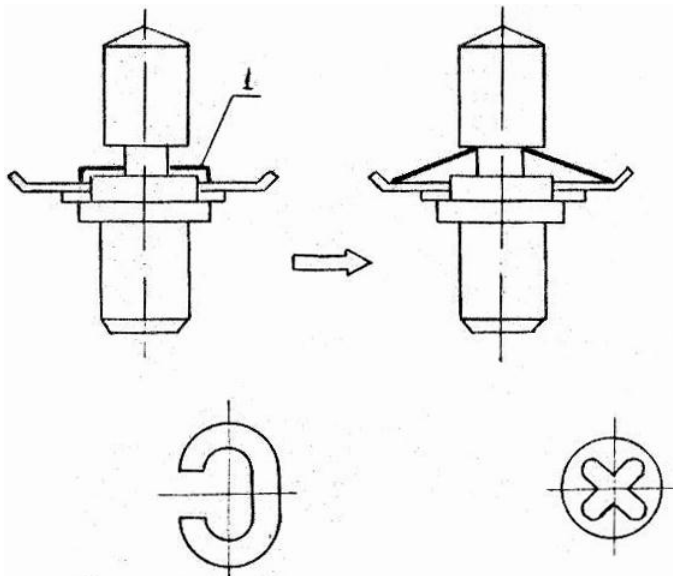


Rys. 3.13. Ułatwienia rozdzielania części: przy średnicach występu i wgłębienia $d_1 > d_2$ rozdzielanie części jest znacznie łatwiejsze



Rys. 3.14. Wykonanie fozki wewnętrznej ułatwia montaż

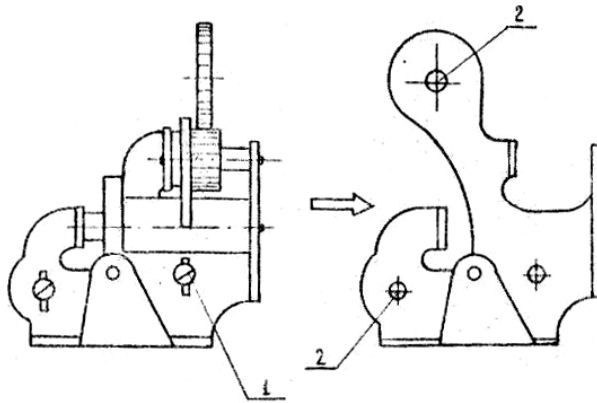
- e) montaż w jednym kierunku (rys. 3.15). Montaż kilku części należy przeprowadzić w jednym kierunku, przy czym wyrobu nie należy obracać.



Rys. 3.15. Ułatwienie montażu – w celu umożliwienia montażu części w jednym kierunku pierścień blokadowy zamieniono na podkładkę

3. Konstrukcje ułatwiające pozycjonowanie.

Wprowadzenie dodatkowego otworu kierunkowego upraszcza pozycjonowanie.



Rys. 3.16. Ułatwienie pozycjonowania: 1 – kolek; 2 – otwór

Przy łączeniu urządzenia należy regulować sprzęgło przesuwając go: w górę, w dół, w prawo, w lewo. Ukierunkowany otwór umieszczony w centrum umożliwia regulowanie sprzęgła poprzez obracanie, przy czym mechanizm jest wzmacniany wkrętem.

Wychodząc z przeprowadzonej analizy, można sformułować warunki, konieczne do automatyzacji procesu montażu, którym powinny odpowiadać wyroby i części:

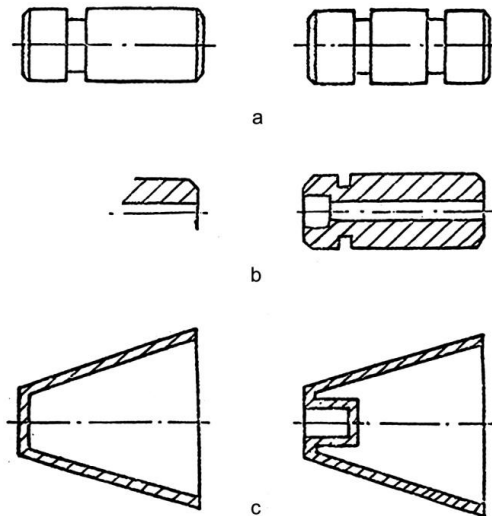
- szerokie stosowanie części zunifikowanych przy projektowaniu przyrządów (stosowanie w różnych częściach maszyny takich samych elementów lub ich zespołów),
- możliwie najmniejsza liczba części w wyrobie (jednak nie kosztem skomplikowania innych części). Umożliwia to zmniejszenie liczby pozycji roboczych w zautomatyzowanych obrabiarkach lub liniach,
- zastosowanie zasady konstruowania blokowego i blokowo-modułowego. Uważa się, że najlepsze bloki zawierają od 4 do 12 wyrobów,
- zmniejszenie ilości elementów łączonych, ponieważ komplikują one proces montażu. Zamiast połączenia śrubowego należy stosować spawanie, sklejanie itd.,
- prostota kształtu części. Jeżeli ze względów konstrukcyjnych część ma skomplikowaną konfigurację, to powinna mieć odpowiednie bazowe powierzchnie: walcowe lub płaskie oraz oznakowane miejsca (klucze), niezbędne do orientowania jej w urządzeniach załadunkowych i transportowych,
- wyrób powinien umożliwiać ustalenie części powierzchnią bazową przy wykonaniu prostych ruchów. Powierzchnia łączona powinna być bazą. W tym przypadku błąd wzajemnej orientacji części jest najmniejszy,

- g) brak ostrych kątów. Chropowatość powierzchni łączonych części nie powinna być większa niż to założono. Części powinny być suche, bez zabrudzeń.

W celu podwyższenia technologiczności poszczególnych części na przykład umożliwiających automatyzację ich załadunku, powinny być spełnione warunki [3.13]:

- części symetryczne o drobnych elementach asymetrycznych należy doprowadzić do pełnej symetrii (rys. 3.17 a),
- w przypadku asymetrii wewnętrznej części na jej zewnętrznej powierzchni wprowadza się wyróżniający element konstrukcyjny (rys. 3.17 b),
- wymiary rowków, pogłębień, otworów w części muszą być tak określone, by uniknąć wpadania jednej części do innej,
- przy możliwości wpadania jednej części do drugiej są stosowane specjalne elementy to uniemożliwiające (rys. 3.17 c).

Ogólne wymagania stawiane konstrukcji części to [3.13]: dobór odpowiedniego materiału, zapewnienie wymaganej chropowatości podczas obróbki, występowanie powierzchni bazowych lub utworzenie sztucznych baz technologicznych, co umożliwi wysoką koncentrację obróbki; dokładność uzasadniona ekonomicznie i funkcjonalnie, zmniejszenie do minimum ilości otworów nieprzelotowych i pochyłych.



Rys. 3.17. Przykłady części nietechnologicznych (po lewej) i technologicznych (po prawej), przeznaczonych do produkcji zautomatyzowanej: a – wał, b – kolnierz, c – szklanka

Obróbka części na obrabiarkach CNC zmieniła tradycyjne pojęcie części technologicznej. Za technologiczną jest uważana część, która zawiera:

- powierzchnie łukowe,
- rowki i występy o ściankach łukowych,
- gwinty o zmiennym skoku,
- płaszczyzny i otwory dokładnie wzajemnie rozmieszczone, które są obrabiane przy obrocie stołu z częścią, na przykład: otwory współosiowe, rozmieszczone na ściankach daleko od siebie położonych.

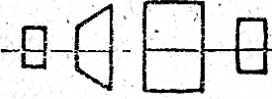






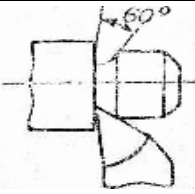
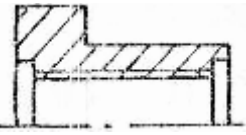

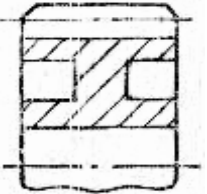
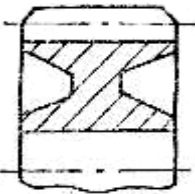
Ponieważ skomplikowanie kształtu geometrycznej części nie zmniejsza jej technologiczności, to można zastąpić kilka prostych części jedną złożoną. Połączenie kilku prostych części, na przykład płyty i czterech kołnierzy do łożyska, w jeden odlewany korpus daje możliwość wykonania w całości obróbki skrawaniem na jednej obrabiarce, co umożliwia zwiększenie dokładności obrabianych powierzchni. Konstruowanie wyrobów o złożonym kształcie, polepsza ich właściwości funkcjonalne poprzez adaptację kształtu części do optymalnych warunków ich pracy. Zmniejszenie ilości części w wyrobie oraz podwyższenie ich dokładności w istotny sposób upraszcza montaż (tab. 3.2).

Powierzchnie, pomiędzy którymi istnieje związek wymiarowy lub geometryczny, należy obrabiać przy jednym ustawieniu, muszą, więc być one dostępne dla narzędzi. W przypadku części – brył obrotowych, zmniejszenie ilości narzędzi jest możliwe przy zwiększeniu wymiarów powierzchni zewnętrznych, a wewnętrzne ulegają zmniejszeniu przy zbliżeniu się do wrzeciona. W tym wypadku zmniejszeniu ulega ilość noży lewych.

Możliwość uzyskania małej chropowatości powierzchni obrabianej na obrabiarce CNC umożliwia łączenie obróbki zgrubnej z wykańczającą. Należy stosować odchyłki symetryczne, co upraszcza opracowanie programu sterującego. Współrzędne elementów obrabianych należy określać z uwzględnieniem możliwości urządzenia CNC, na przykład, należy zrezygnować ze stosowania biegunowych układów współrzędnych, a stosować prostokątne. Współrzędnych otworów nie należy przywiązywać do baz innych od przyjętych do obróbki części.

Elastyczność produkcji [3.13], bazuje na typizacji procesów i organizacji produkcji grupowej. Proces typowy przyczynia się do zmniejszenia ilości procesów autonomicznych. Bazuje się na grupowaniu części według klasyfikatorów konstrukcyjnych i technologicznych, które umożliwiają utworzenie grup jednorodnych konstrukcyjnie i technologicznie. Unifikacja części i ich elementów konstrukcyjnych jest wyjściowym warunkiem unifikacji operacji technologicznych oprzyrządowania. Analiza technologiczności części, zgrupowanych według podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego, umożliwia ujednoczenie decyzji konstrukcyjnych i technologicznych. Unifikacja elementów umożliwia obróbkę przy zastosowaniu minimalnej ilości narzędzi, daje możliwość wykorzystania typowych schematów obróbki, wspólnych schematów bazowania, metody tworzenia półwyrobów itd.

Tab. 3.2. Sposoby podwyższania technologiczności części

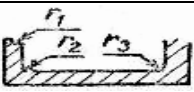

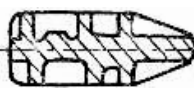


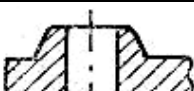

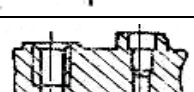
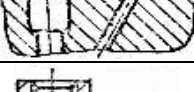
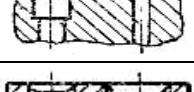
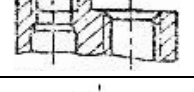
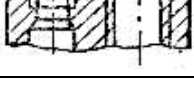
Sposób podwyższenia a technologiczności	Elementy konstrukcji		Efekt
	Bazowy	Modyfikowany	
Łączenie kilku prostych elementów w zespół			Zwiększenie koncentracji procesu, zmniejszenie złożoności, co upraszcza montaż
Zastąpienie szlifowania toczeniem wykańczającym			Wielominowanie rowków w tarczy szlifierskiej. Zmniejszenie złożoności i liczby operacji
Unifikacja dodatkowych elementów konstrukcyjnych			Zmniejszenie ilości narzędzi podczas przetrzajania
Zmiana kształtu rowków do wybiegu gwintu lub tarczy szlifierskiej			Wieliminowanie noży specjalnych
Zmiana kształtu fazek ochronnych w połączeniach wielowypustowych			Wieliminowanie noży specjalnych
Zmiana kształtu rowka			Zmniejszenie liczby noży

Wymagania odnośnie technologiczności części – brył obrotowych dotyczą unifikacji powierzchni dodatkowych i elementów konstrukcyjnych, których obróbka wymaga stosowania specjalnych narzędzi, a także modyfikacji ich kształtu w taki sposób, aby mogły być obrobione narzędziami uniwersalnymi (rys. 3.18).

W celu podwyższenia technologiczności korpusów wykonuje się je, jako symetryczne, unifikacji podlegają promienie łączące powierzchnie, wymiary oraz chropowatość powierzchni otworów w ramach grupy części (tab. 3.3).

Zwiększenie technologiczności grup części daje możliwość skrócenia kosztów przezbrajanie obrabiarek CNC, a tym samym zwiększenia ich elastyczności.

Tab. 3.3. Przykłady poprawy technologiczności części obrabianych na obrabiarkach wielocelowych

Sposób podwyższenia technologiczności	Elementy konstrukcji		Efekt
	Bazowy	Modyfikowany	
Unifikacja promieni			Zmniejszenie ilości narzędzi i czasu pomocniczego
Symetryczność kształtu			Zmniejszenie dwukrotnie czasu opracowania programu sterującego
Rozmieszczenie obrabianych powierzchni na jednym poziomie			Zmniejszenie czasu mocowania
Zastosowanie otworów prostopadłych do powierzchni głównej			Zmniejszenie pracołłonności obróbki oraz czasu opracowania programu sterującego
Rozmieszczenie otworów na jednym poziomie			Zmniejszenie długości wiertła, podwyższenie dokładności obróbki
Zastąpienie rowka wierceniem głębokim			Zmniejszenie kosztu i pracołłonności obróbki.

Zautomatyzowanie obróbki części wymaga podwyższenia poziomu konstrukcyjnego przygotowania wyrobu. Automatyzacja operacji załadowniczych, transportowych, kontrolnych, obsługowych (czyszczenie itd.) jest możliwa w przypadku odpowiedniego kształtu, wymiarów oraz chropowatości powierzchni półwyrobów i części. Części podlegające obróbce mechanicznej, muszą mieć:

- kształt umożliwiający łatwe usuwanie wiórów,
- możliwość łatwej orientacji,

- wysoką dostępność narzędzi do powierzchni, umożliwiającą zapewnienie maksymalnej koncentracji obróbki i zmniejszenie przemieszczeń międzyoperacyjnych,
- odpowiedni kształt – powierzchnie umożliwiające bazowanie w przyrządzie (uchwycie) na obrabiarce, a także we chwytaku robota przemysłowego.

Część jest uważana za nietechnologiczną, jeżeli jej konstrukcja uniemożliwia albo komplikuje zautomatyzowane wytwarzanie i odwrotnie, jest uważana za technologiczną, kiedy można stosować konstrukcyjnie proste lub uniwersalne urządzenia automatyczne do mocowania i zdejmowania części, ich transportu, magazynowania, mycia, kontroli itp.

3.2.6. Planowanie operatywno-produkcyjne w ESP

Organizacja produkcji elastycznej wymaga rozwiązania zadań, planowania i przemieszczenia wyrobów w ESP. Organizacja procesu w czasie, czyli uporządkowywanie i optymalizacja przemieszczeń potoków wyrobów, wymaga zastosowania operatywno-produkcyjnego planowania produkcji. Optymalna kolejność wykonania operacji technologicznych części w grupie umożliwia produkcję grupy części w krótszym czasie oraz zwiększenie obciążenia urządzeń. ESP z zautomatyzowanymi, zcentralizowanymi systemami magazynowania i transportu mają możliwość operatywnego dostarczenia do stanowisk roboczych części i narzędzi, co umożliwia przydział operacji do obrabiarek w zależności od sytuacji produkcyjnej. Do rozwiązania zadań planowania operatywno-produkcyjnego są stosowane metody teorii rozkładów.

Uogólnione zadanie planowania operatywno-produkcyjnego wygląda następująco. Należy zrealizować obróbkę n różnych części w najkrótszym czasie. Każda część i ($i=1, n$) jest najpierw obrabiana na obrabiarce a w czasie t^{ai} , a następnie na obrabiarce b w czasie t^{bi} . Zakłada się, że zakres prac przygotowawczo-zakończeniowych nie zależy od kolejności obróbki. Kolejna operacja wykonywana na obrabiarce b , nie może się rozpocząć, dopóki nie zostanie zakończona operacja poprzedzająca na obrabiarce a .

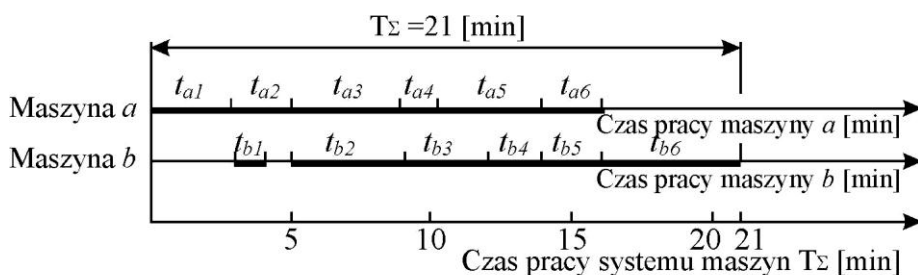
Przedstawiono przykład [3.13] obróbki sześciu części ($n=6$) na dwóch obrabiarkach (a, b). Czas obróbki części na każdej z obrabiarek jest przedstawiony w tab. 3.4.

Tab. 3.4. Czas obróbki części, min

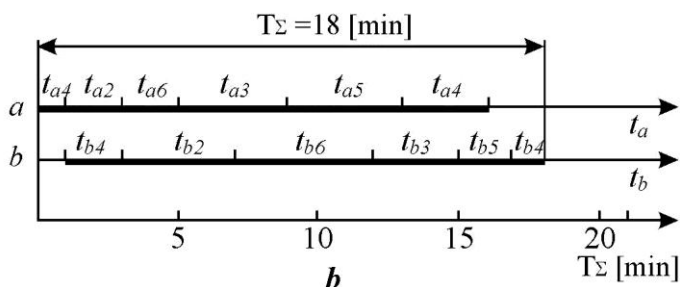
Obrabiarka	Numer części					
	1	2	3	4	5	6
a	3	2	4	1	4	2
b	1	4	3	2	2	5

Możliwe opcje kolejności obróbki części wygodnie jest przedstawiać graficznie na tzw. wykresie Gantta (rys. 3.18). Na wykresie dla każdej obrabiarki jest rysowana linia, wzdłuż której odkłada się czas obróbki każdej części na tej obrabiarce.

Obróbka n części jest optyimizowana poprzez wyznaczenie takiej kolejności ich obróbki, która daje najmniejszy sumaryczny czas obróbki. Zadanie może być rozwiązane w wyniku pełnego lub cząstkowego przeszukania opcji, a także przy zastosowaniu metod heurystycznych.



a



b

Rys. 3.18. Wykresy Gantta obróbki sześciu części na dwóch obrabiarkach: a – przypadkowa, b – optymalna kolejność obróbki

Zastosowanie metody pełnego przeszukania wariantów umożliwia dokładne rozwiązanie zadania, lecz wymaga dużego czasu maszynowego. Liczba możliwych wariantów kolejności obróbki n różnych części na W obrabiarkach jest równa:

$$A = \prod_{i=1}^W n_i! \quad (3.14)$$

Czas obróbki części jest przedstawiony w tab. 3.4. Liczba wariantów obróbki jest równa:

$$A = 6! \cdot 6! = 518400.$$

Ponieważ liczba dopuszczalnych wariantów obróbki jest zawsze mniejsza od liczby możliwych wariantów wskutek rozmaitych ograniczeń związanych z kolejnością wykonania operacji (technologiczne, organizacyjne i tym podobne), to warianty bezperspektywne zostają wyeliminowane na początkowych i pośrednich etapach rozwiązania zadania. Stosowanie metod cząstkowego przeszukania wariantów znacznie przyśpiesza rozwiązanie zadania.

Najbardziej rozpowszechnionymi metodami rozwiązywania zadań planowania operatywno-produkcyjnego są metody heurystyczne, będące wynikiem doświadczenia produkcyjnego.

Przybliżoną listę reguł, na przykład, do rozwiązania wyżej wymienionego zadania, można przedstawić następująco [3.13]:

1. W pierwszej kolejności są obrabiane części, w przypadku których czas obróbki na obrabiarce a jest krótszy, niż na obrabiarce b :

$$t_{ai} < t_{bi}. \quad (3.15)$$

2. Części, wyodrębnione według reguły 1, są obrabiają w kolejności wzrostu obróbki na obrabiarce a .
3. Części pozostałe obrabiane są w kolejności zmniejszenia się czasu t^{bi} .

Po ustaleniu kolejności obróbki zgodnie z powyższymi regułami proces ilustruje się na odpowiednim wykresie Gantta (rys. 3.20 b). Optymalizacja kolejności obróbki umożliwia zmniejszenie sumarycznego czasu obróbki z 21 do 18 min, czyli o 15%.

Przedstawiona metodyka optymalizacji obróbki części znajduje zastosowanie do optymalizacji kolejności obróbki partii części. Dane wejściowe przy tym zawierają czas obróbki odpowiedniej partii części z uwzględnieniem czasu przebrojenia obrabiarki. Ponieważ w warunkach produkcji elastycznej marszruty obróbki różnych części różnią się ilością oraz zawartością operacji technologicznych, to wyjściowe dane planowania operatywno-produkcyjnego muszą być odpowiednio uzupełnione. Należy wykonać n typów części ($j=1, n$), proces obróbki każdej z nich składa się z l operacji ($l=1, L$), wykonywanych na m obrabiarkach ($q=1, m$). Należy określić taką kolejność dostarczania partii części na obróbkę w przypadku, której uzyskuje się optymalną wartość funkcji celu (najmniejszy czas obróbki, największe obciążenie urządzenia itp.) przy spełnieniu następujących warunków :

- operacje technologiczne obróbki każdej części wykonywane są zgodnie z marszrutą technologiczną, czyli według określonej kolejności,
- na każdej obrabiarce jednocześnie może być obrabiana tylko jedna partia części,
- każda operacja obróbki partii części na obrabiarce jest wykonywana bez przerwy.

Dane wejściowe do planowania operatywno-produkcyjnego zawarte są w dwóch macierzach: marszrut technologicznych $Q[q_{jl}]$ i pracochłonności $T[t_{jl}]$

Macierz marszrut technologicznych ma postać:

$$Q[q_{jl}] = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1l} & \dots & q_{1L} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2l} & \dots & q_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{j1} & q_{j2} & \dots & q_{jl} & \dots & q_{jL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nl} & \dots & q_{nL} \end{pmatrix}, \quad (3.16)$$

gdzie: q_{jl} – numer obrabiarki, na którym jest wykonywana l -ta operację nad j -tą częścią; $j=1, n$ – numer części; $l=1, L$ – numer operacji.

Macierz pracochłonności ma taką samą wymiarowość i strukturę, w jej elementach zamiast numeru obrabiarki jest zapisywany czas wykonania odpowiednich operacji obróbki partii:

$$T[t_{jl}] = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1l} & \dots & t_{1L} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2l} & \dots & t_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{j1} & t_{j2} & \dots & t_{jl} & \dots & t_{jL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nl} & \dots & t_{nL} \end{pmatrix}, \quad (3.17)$$

gdzie t_{jl} – czas wykonania ij -tej operacji obróbki partii.

Dane wyjściowe zadania optymalizacji kolejności obróbki dwóch partii części ($n = 2$) na dwóch obrabiarkach ($m = 2$), przy marszrucie technologicznej, zawierającej trzy operacje ($L = 3$), przedstawione zostały w tabelach 3.5 i 3.6.

Tabele 3.5 i 3.6 są macierzami przezbrajania – macierzami marszrut technologicznych i pracochłonności:

$$Q = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{vmatrix}; T = \begin{vmatrix} 4 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 \end{vmatrix} (\text{godz.})$$

Wykres Gantta opisujący pracę obrabiarek 1 i 2, przedstawiono na rys. 3.19.

Tab. 3.5. Numer obrabiarki wykonującej operację obróbki partii

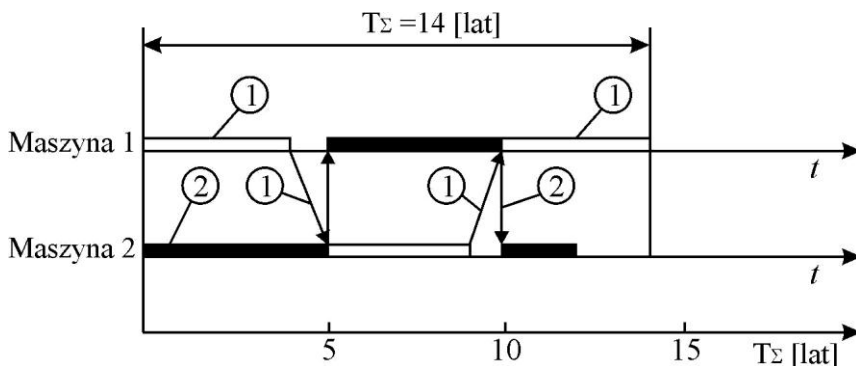
Numer części	Numer operacji		
	1	2	3
1	1	2	1
2	2	1	2

Tab. 3.6. Pracochłonność operacji obróbki partii (godz.)

Numer części	Numer operacji		
	1	2	3
1	4	4	4
2	5	5	2

Optymalna kolejność obróbki partii części jest określana na podstawie odpowiednich reguł. Zakłada się, że obrabiarki nie ulegają uszkodzeniu podczas obróbki partii części, czas ich przezbierania wchodzi do ogólnej pracochłonności wykonania odpowiedniej operacji obróbki partii. Do określania optymalnej kolejności obróbki partii części w warunkach *ELP* zaleca się wykorzystanie następujących reguł:

1. Do obróbki jest kierowana partia części, która przeszła wszystkie poprzednie operacje.
2. Jeżeli takich partii jest kilka, to do obróbki jest wybierana partia części, w przypadku której zrealizowano najwięcej operacji technologicznych;
3. Kiedy partii, wyodrębnionych zgodnie z zasadą 2 jest kilka do obróbki kierowana jest partia o najmniejszym czasie obróbki.
4. Jeśli, zgodnie z zasadą 3, takich partii okaże się kilka, to do obróbki jest wybierana partia o najmniejszym czasie następnej operacji.
5. W przypadku, kiedy partii określonych zgodnie z zasadą 4 jest więcej niż jedna to do obróbki jest kierowana losowo dowolna z nich.



Rys. 3.19. Wykres Gantta obróbki dwóch partii części na dwóch obrabiarkach

Przedstawiona lista reguł nie jest uniwersalna. W konkretnych warunkach produkcyjnych reguły te są doskonalone zgodnie z doświadczeniem eksploatacji ESP.

3.3. Projektowanie procesu obróbki mechanicznej w produkcji elastycznej

3.3.1. Właściwości procesów obróbki mechanicznej z punktu widzenia ich automatyzacji

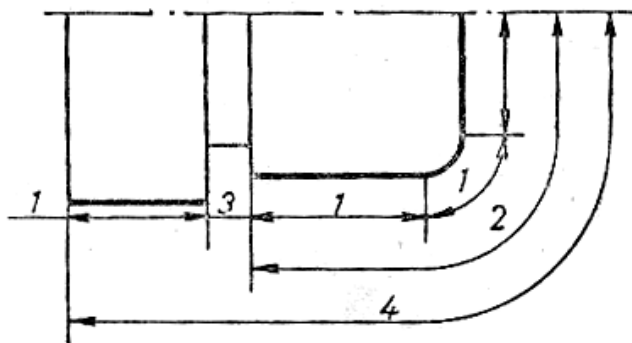
Obróbka mechaniczna części w warunkach produkcji elastycznej jest wykonywana głównie na obrabiarkach CNC, które są podstawą do budowy zautomatyzowanych systemów obróbki. Głównym zadaniem jest projektowanie technologii, umożliwiającej najpełniejsze wykorzystanie możliwości technologicznych obrabiarek CNC, zapewniając ich efektywną pracę w ESP.

Stopień szczegółowości rozwiązań technologicznych jest określany informacją, konieczną dla opracowania programu sterującego, w tym:

- wymiarami części,
- parametrami technologicznymi obróbki,
- komendami pomocniczymi, na przykład: włączenie i wyłączenie obrotów wrzeciona, doprowadzanie płynu smarująco-chłodzącego, mocowanie półwyrobu, zamiana narzędzia itd.,
- warunkami wykonania korekcji położenia narzędzi i parametrów skrawania.

Struktura operacji technologicznej, wykonywanej na obrabiarce CNC, istotnie komplikuje się w wyniku wysokiej koncentracji obróbki [3.13]. Operacja obróbki korpusu o średniej trudności wykonania, na przykład na wielocelowej obrabiarce CNC trwa od 1,5 do 2,0 godz. i zawiera kilkadziesiąt technologicznych przejść.

Operacje technologiczne realizowane na obrabiarce CNC przewidują konsekwentną obróbkę jednym narzędziem kilku powierzchni, nieprzerwaną obróbkę kilku powierzchni itd. Złożone struktury operacji technologicznych realizowanych na obrabiarce CNC umożliwiają rozszerzenie konkretyzację pojęcia przejścia technologicznego jako elementu operacji technologicznej.



Rys. 3.20. Rodzaje przejść w operacji tokarskiej CNC: 1 – elementarne; 2 – narzędziowe; 3 – pomocnicze; 4 – pozycyjne

Przejście technologiczne – część operacji technologicznej charakteryzująca się stałością narzędzi i powierzchni, powstających w trakcie obróbki. Przy obróbce części na obrabiarce CNC wyróżnia się przejścia: elementarne, narzędziowe, pomocnicze, pozycyjne.

Przejście elementarne – nieprzerwany proces obróbki jednej powierzchni elementarnej jednym narzędziem według programu sterującego (rys. 3.20).

Przejście pomocnicze – przemieszczenie narzędzia według programu sterującego bez powstania wióru.

Przejście narzędziowe – proces obróbki jednej lub kilku powierzchni elementarnych przy nieprzerwanym przemieszczeniu jednego narzędzia według programu sterującego.

Przejście pozycyjne – połączenie przejść narzędziowych i pomocniczych, wykonywanych narzędziem według programu sterującego.

Dalsze uszczegółowienie operacji technologicznej wymaga podzielenia procesu obróbki na ruchy elementarne, wykonywane wzdłuż prostej lub okręgu ze stałą prędkością.

Małą ilość operacji w procesie technologicznym uzyskuje się w wyniku wysokiej koncentracji obróbki, charakterystycznej w przypadku współczesnych obrabiarek CNC, na których przy jednym ustawieniu części obrabia się wiele powierzchni i elementów konstruktywnych. Kształtowanie struktury operacji obróbki na obrabiarkach wielonarzędziowych CNC jest podporządkowane zasadzie maksymalnie możliwej koncentracji obróbki. W tym przypadku liczba operacji i technologicznych jest minimalna, a proces umożliwia:

1. Zwiększenie dokładności części i stabilności obróbki w wyniku zmniejszenia liczby zamocowań części,
2. Obniżenie pracochłonności obróbki przez zmniejszenie czasu wykonywania operacji pomocniczych: załadunku obrabiarki, kontroli technicznej, znakowania itd.,
3. Uproszczenie międzyoperacyjnego transportu części w wyniku skrócenia marszrut technologicznych,
4. Zwiększenie maszynochłonności części na poszczególnych operacjach, co umożliwia zmniejszenie ilości operacji przypisanych do jednej obrabiarki,
5. Zmniejszenie ilości oprzyrządowania.

Kompleksowość rozwiązania technologicznego przewiduje pełną obróbkę części, którą można zrealizować w ramach ESP. To wymaganie jest spełniane rzadko, na przykład w niektórych ESP do obróbki korpusów realizuje się tylko od 40 do 60% pełnego zakresu obróbki mechanicznej. Pozostałe operacje są wykonywane poza ESP, co negatywnie wpływa na efektywność produkcji elastycznej.

Kompleksowa technologia obróbki części łączy wytwarzanie półwyrobów, ich obróbkę i przygotowanie baz technologicznych, obróbkę części zgrubną, kształtującą i wykańczającą oraz różnego rodzaju obróbki specjalne. Obróbka podstawowa, a często również obróbka poprzedzająca, stanowiące większą część maszynochłonności procesu, z reguły są wykonywane w ESP. Operacje wykończeniowe, wymagające specjalnych obrabiarek, a także obróbka cieplna części są wykonywane na urządzeniach poza ESP. W tym przypadku ESP jest częścią oddziału lub linii o niższym poziomie automatyzacji.

Wielowariantowość technologii jest możliwa w przypadku rozszerzenia możliwości technologicznych obrabiarek CNC, które mogą pracować jako wzajemnie zamienne. Przy obróbce wielozabiegowej elastyczność ESP wzrasta, jeśli zostaną stworzone warunki technologiczne zmiany kolejności wykonywania operacji. W trakcie projektowania technologii opracowuje się kilka marszrut technologicznych tak, aby w razie zmiany warunków zewnętrznych (braku półwyrobów, narzędzi, uszkodzenia obrabiarki itd.) można było wykorzystać dowolną marszrutę rezerwową. Podczas opracowania opisu marszrut głównej i rezerwowych, w przypadku każdej następnej operacji są wskazywane numery operacji poprzednich.

3.3.2. Etapy opracowania procesu mechanicznej obróbki

W procesie produkcji elastycznej jest obrabiana grupa części o podobieństwie konstrukcyjno-technologicznym. Podstawą jego opracowania jest grupowanie części, ich klasyfikacja, unifikacja elementów konstrukcyjnych i powierzchni oraz typizacja rozwiązań technologicznych. Typizacja rozwiązań technologicznych w przypadku wyrobów o podobnych cechach konstrukcyjno-technologicznych

umożliwia opracowanie typowych procesów i operacji. Typowa operacja technologiczna, w przypadku grupy wyrobów o wspólnych cechach konstrukcyjno-technologicznych, charakteryzuje się jednolitą zawartością i kolejnością przejść.

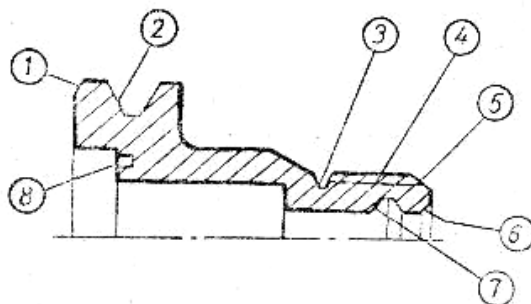
Typizacja rozwiązań technologicznych w przypadku grupy wyrobów o różnych cechach konstrukcyjnych, lecz podobnych technologicznych daje możliwość opracowania grupowych procesów i operacji.

Opracowany proces musi zapewnić spełnienie technicznych wymagań przy najmniejszych kosztach pracy, środków produkcji i materiałów. Z możliwych wariantów procesu najlepszy będzie ten, który zapewni najwyższy efekt ekonomiczny produkcji danej grupy wyrobów. Założenia ramowe opracowania procesu w warunkach produkcji elastycznej w zasadzie są takie same, jak w przypadku produkcji tradycyjnej. Główne etapy projektowania to:

- dobór części do obróbki w warunkach produkcji elastycznej, ich grupowanie, klasyfikacja i kodowanie powierzchni oraz elementów konstrukcyjnych,
- analiza technologiczności grupy części, unifikacja elementów konstrukcyjnych,
- analiza i opracowanie warunków technicznych wykonania części, analiza technologiczna rysunków,
- dobór półfabrykatów,
- określenie metod obróbki powierzchni półfabrykatów,
- wybór baz technologicznych i schematów mocowania,
- opracowanie marszruty technologicznej procesu,
- analiza wymiarowa procesu,
- opracowanie operacji technologicznych, programów sterujących, wykonanie cyklogramów pracy zautomatyzowanych systemów obróbki.

3.3.3. Dobór i grupowanie części

Operacja obróbki części na obrabiarkie CNC składa się z niezależnych przejść technologicznych, ponieważ dokładność wykonania każdego wymiaru części bez jej ponownego mocowania nie zależy od dokładności wykonania innych wymiarów. Umożliwia to obróbkę części dokładnych i skomplikowanych. Kwalifikując części dla obróbki w warunkach produkcji elastycznej, należy brać pod uwagę, że efektywność obrabiarek CNC wzrasta wraz ze zwiększeniem się złożoności obrabianych części [3.13].



Rys. 3.21. Powierzchnie części: 1–8 – powierzchnie dodatkowe, pozostałe – główne

Metodyka opisu części i mechanizmów w istniejących systemach CAD jest główną przeszkodą na drodze do utworzenia zintegrowanych systemów konstrukcyjno-technologicznych. Modele wyrobów we współczesnych systemach są modelami geometrycznymi, podczas gdy do grupowania części i automatyzacji projektowania procesów w warunkach produkcji elastycznej konieczne są modele konceptualne. Konceptualny model części bazuje na pojęciu elementu konstrukcyjno-technologicznego (*KTE*) (również nazywanego „features”). Taki element jest konstrukcyjny w tym sensie, że realizuje w części pewną funkcję konstrukcyjną, na przykład: umożliwia bazowanie części w mechanizmie (osiowe otwory cylindryczne i stożkowe, rowki pod wpusty itd.).

Złożoność części jest określana przy zastosowaniu takich charakterystyk, jak: liczba powierzchni i elementów konstrukcyjnych, ich kształt i chropowatość, dokładność i tym podobne. Przy obróbce części złożonych w warunkach produkcji elastycznej, zmniejszeniu ulega liczba jednostek maszyn i oprzyrządowania technologicznego, jak również uproszczeniu ulegają operacje kontrolne. Zakwalifikowane do wytwarzania w warunkach produkcji elastycznej części muszą charakteryzować się podobieństwem technologicznym, ponieważ większość ESP jest specjalizowana na wytwarzanie części określonego typu. Efektywność funkcjonowania takiego ESP można zwiększyć w wyniku unifikacji decyzji konstrukcyjnych i technologicznych.

Unifikacja decyzji konstrukcyjnych polega na unifikacji i standaryzacji wyrobów, części i ich powierzchni. Prowadzi do zmniejszenia różnorodności rozwiązań technologicznych, stosowanych przy obróbce grupy części. Unifikacja decyzji konstrukcyjnych stwarza podstawę do unifikacji rozwiązań technologicznych.

Unifikacja rozwiązań technologicznych polega na opracowaniu procesów typowych i grupowych z zunifikowanymi elementami, czyli narzędzi do obróbki, schematów bazowania, schematów obróbki i tym podobne. Proces w tym przypadku może być utworzony w wyniku syntezy zunifikowanych decyzji konstrukcyjno-technologicznych, zawierających opis konstrukcyjny elementu części i technologię jego otrzymania (rys. 3.22).

Każda część grupy może być przedstawiona odpowiednim zestawem elementów konstrukcyjnych, a technologia jej obróbki – zestawem odpowiednich rozwiązań technologicznych. Do głównych należą powierzchnie, które twarzą zarys części. Obrabiane są przy zastosowaniu narzędzi uniwersalnych. Wszystkie główne powierzchnie części, które są bryłą obrotową, można obrabiać nożem kształtowym (rys. 3.21). Powierzchnie dodatkowe, z reguły są obrabiane narzędziem specjalnym po obróbce powierzchni głównych, powiązanych z nimi wymiarowo lub geometrycznie. Do dodatkowych powierzchni należą rowki, gwinty, fazki, wpusty itd.

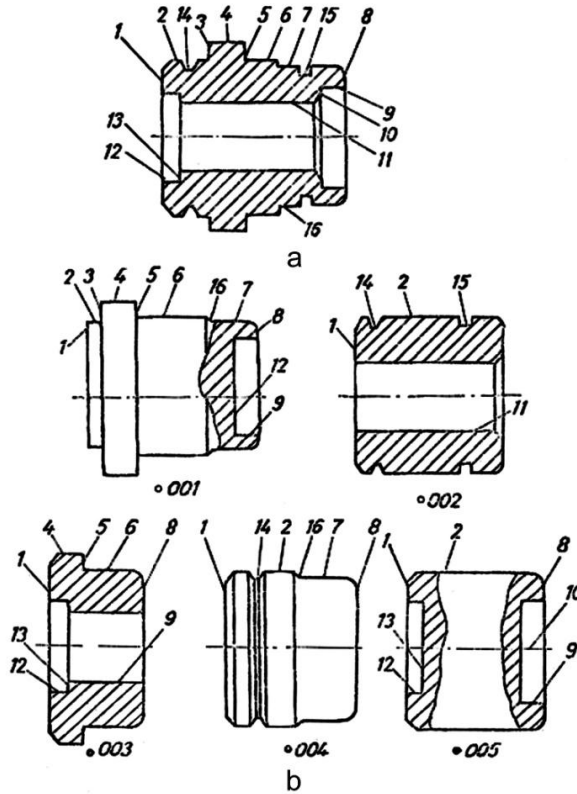
W pierwszej kolejności unifikacji podlegają elementy dodatkowe, ponieważ obróbka każdego z nich wymaga zastosowania specjalnego narzędzia i wyodrębnienia dla niego odpowiedniej pozycji w magazynie.

Przy grupowaniu części i analizie ich podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego uwzględnia się rodzaj obrabianego materiału, wymiary gabarytowe, sposób bazowania oraz wymiary powierzchni bazowych, wymagania dotyczące jakości obróbki, występowanie operacji wykończeniowych i specjalnych. Zgrupowanie jednego konstrukcyjno-technologicznego typu części umożliwia utworzenie części kompleksowej lub wyodrębnienie typowego przedstawiciela. Część kompleksowa może być rzeczywistą lub abstrakcyjną. Zawiera ona elementy konstrukcyjne, charakterystyczne w przypadku wszystkich części grupy. Część kompleksowa jest wykorzystywana do opracowania grupowego zunifikowanego półwyrobu, projektowania uogólnionego procesu i grupowych operacji technologicznych.

Do projektowania grupowej operacji technologicznej część kompleksowa jest opisywana macierzą elementów konstrukcyjnych i powierzchni M_{pow} (rys. 3.22).

Tab. 3.7. Powierzchnie części kompleksowej

Powierzchnie części kompleksowej	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Część .001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1
.002	1	1						1			1			1	1	
.003	1			1	1	1		1	1			1	1			
.004	1	1					1	1						1		1
.005	1	1						1	1	1		1	1			



Rys. 3.22. Część kompleksowa (a) i grupa części (b): 1–16 – powierzchnie części

Zestawiona została macierz o takiej samej wymiarowości w przypadku powierzchni, których nie można obrobić w pierwszej operacji grupowej \bar{M}_{pow} . Są to powierzchnie, niedostępne dla narzędzi lub powierzchnie, służące do ustalania i mocowania.

Tab. 3.8. Powierzchnie, których nie można obrobić w pierwszej operacji grupowej

Powierzchnie części kompleksowej	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Część																
.001	1	1	1	1												
.002	1										1					
.003	1			1								1	1			
.004	1	1												1		
.005	1											1	1			

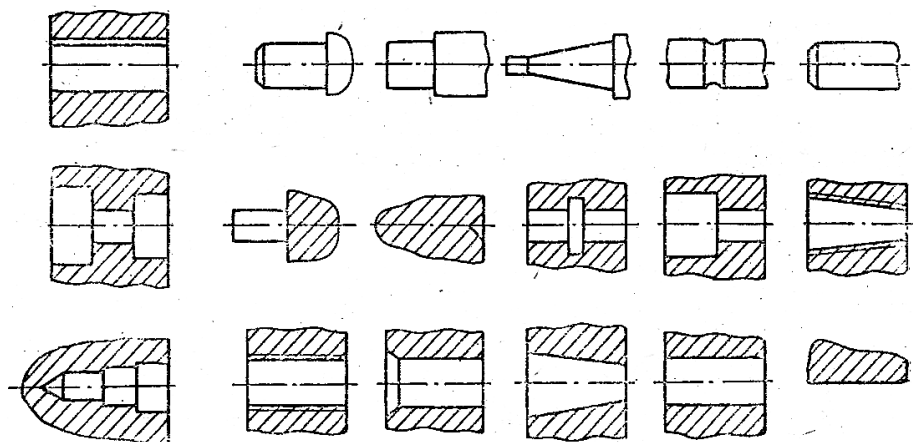
Uzyskana w wyniku odejmowania macierz M_1 zawiera powierzchnie wszystkich części grupy, które mogą być obrabiane w pierwszej operacji grupowej przy najwyższej koncentracji obróbki:

$$M_1 = M_{pow} - \bar{M}_{pow}$$

Tab. 3.9. Powierzchnie części grupy obrabiane w pierwszej operacji

Powierzchnie części kompleksowej	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Część																
.001					1	1	1	1	1							1
.002		1						1							1	
.003					1	1		1	1					1		
.004							1	1								
.005		1						1	1	1						

Stosowanie zunifikowanych decyzji konstrukcyjno-technologicznych daje możliwość odpowiedniego rozmieszczenia powierzchni, wchodzących do macierzy M_i , doboru odpowiedniego zestawu przejść elementarnych, narzędziowych lub stałych, które w kompleksie tworzą operację grupową.



Rys. 3.23. Elementy konstrukcyjne części

Analogicznie jest dokonywana unifikacja elementów konstrukcyjnych korpusów (rys. 3.23). W przypadku każdego elementu konstrukcyjnego są opracowywane zunifikowane rozwiązania technologiczne w postaci typowego schematu obróbki.

Przy tworzeniu operacji grupowych technolog musi podejmować decyzję o włączeniu bądź niewłączeniu tej czy innej części do grupy. Przy obróbce zaleca się wykorzystywać współczynnik elastyczności technologicznej na konkretnej obrabiarce systemu, jako kryterium włączenia czy niewłączenia operacji obróbki części:

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{T_{Pi}}{t_i P_i}} = K_u \cdot K_m \quad (3.18)$$

Rozszerzenie ilości operacji obróbki części, określonych dla obrabiarki, zwiększa współczynnik uniwersalności K_u i zmniejsza współczynnik mobilności K_m w wyniku zwiększenia trudności przezbrajania. Analiza zależności pokazuje, że funkcja $G=f(n)$ posiada wyraźne maksimum, które odpowiada najmniejszym kosztom przezbrajania.

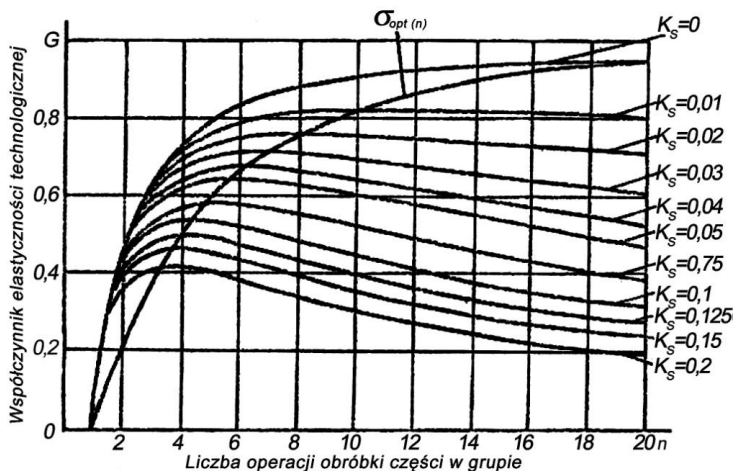
Stosunek czasu przezbrajania do czasu obróbki partii części oznaczono, jako współczynnik przezbrajania K_S :

$$K_S = \frac{T_{n,i}}{P_i} \quad (3.19)$$

Przy analizie zależności [3.13], w celu uproszczenia przyjęto, że $K_{S1}=K_{S2}= \dots = K_{Si}= \dots = K_{SN}$ skąd:

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + nK_S} \quad (3.20)$$

Zależność graficzna $G = f(n, K_S)$ i $G_{opt} = f(n)$ jest pokazana na rys. 3.24.



Rys. 3.24. Zależność współczynnika elastyczności technologicznej G i jego wartości optymalnej G_{opt} od liczby części n , wchodzących w grupę

Współczynnik elastyczności G zwiększa się wraz ze wzrostem podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego części oraz zwiększeniem ilości operacji obróbki części w grupie i skróceniem czasu przetwarzania.

3.3.4. Analiza technologiczna rysunku części

Każda część obrabiana, może być przedstawiona, jako połączenie oddzielnych powierzchni. Część po zakończeniu obróbki mechanicznej ma powierzchnie, które przeszły różne etapy obróbki [3.13, 3.14]:

- powierzchnie, które pozostały nieobrobione;
- powierzchnie, obrobione zgrubnie;
- powierzchnie, obrobione najpierw zgrubnie, a potem wykańczająco;
- powierzchnie, które po obróbce wykańczającej zostały poddane obróbce gładkościowej.

Powierzchnie te wykonują zadania funkcjonalne części lub ograniczają materiał części.

Wymiary, charakteryzujące powierzchnie i relacje między nimi, według metody zapewnienia ich dokładności można podzielić na dwa rodzaje:

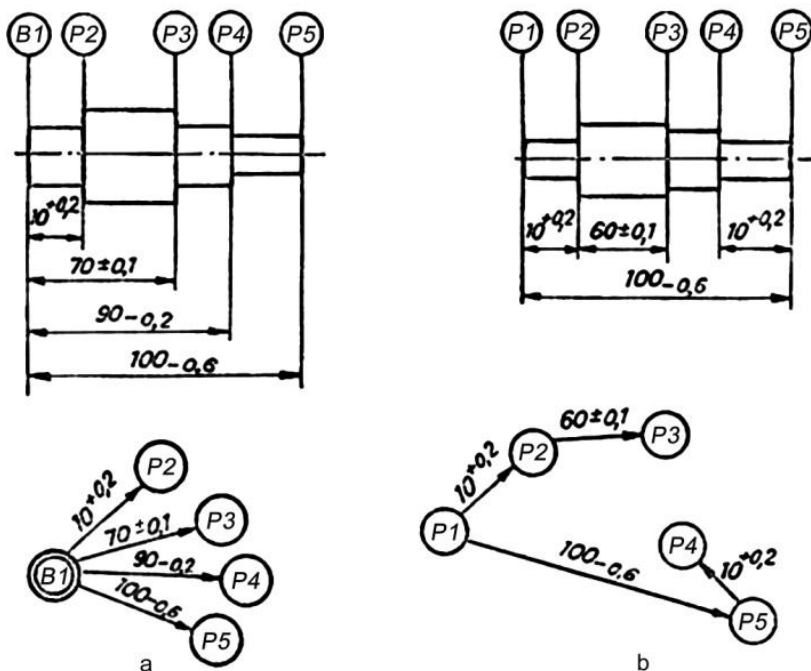
- wymiary, których dokładność uzyskania nie zależy od dokładności przemieszczenia organów roboczych obrabiarki według programu sterującego (na przykład średnica otworu),
- wymiary, których dokładność jest określana dokładnością przemieszczenia, według programu sterującego organów roboczych obrabiarki.

Wymiary drugiego rodzaju koordynują wzajemny rozkład powierzchni i elementów konstrukcyjnych części względem baz. W tym celu są stosowane metody wymiarowania: współrzędnościowy i łańcuchowy.

Metoda współrzędnościowa polega na rozkładzie całych powierzchni względem jednej bazy. W tym przypadku wyklucza się wpływ błędu ustawienia półwyrobów na dokładność wzajemnego rozkładu powierzchni, które są obrabiane przy jednym ustawieniu.

Metoda łańcuchowa wzajemnego rozkładu powierzchni znajduje zastosowanie w przypadkach, kiedy część ma powierzchnie niezwiązane wymiarami z bazą główną, a tylko między sobą. Jeśli należy przy tym zagwarantować wysoką dokładność wymiarów, to jako nowe bazy technologiczne są wybierane powierzchnie, względem których były określane wymiary powierzchni obrabianych. Umożliwia to skrócenie długości technologicznych łańcuchów wymiarowych.

W obu przypadkach każda powierzchnia musi mieć dostateczną ilość wymiarów koordynujących, aby można było określić jednoznacznie jej położenie. Jeżeli przedstawić powierzchnie części, jako wierzchołki grafu, to krawędzie opiszą łączniki wymiarowe i geometryczne pomiędzy powierzchniami. Związek bazy części B z jej powierzchniami charakteryzuje dwie metody wymiarowania (rys. 3.25).



Rys. 3.25. Schematy wymiarowania: współrzędnościowy (a) i łańcuchowy (b)

Rysunek części zawiera kilka rodzajów wymiarów wiążących jej powierzchnie:

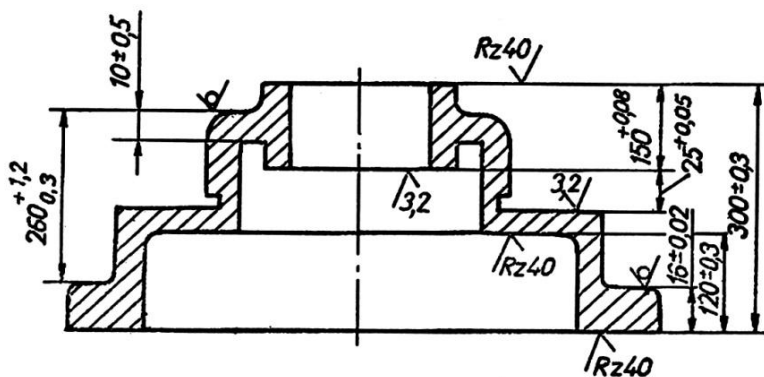
- wymiary wiążące powierzchnie nieobrobione (wymiar półwyrobów),
- wymiary wiążące powierzchnie obrobione zgrubnie,
- wymiary wiążące powierzchnie obrobione wykończeniowo,
- wymiary koordynacyjne, wiążące powierzchnie nieobrobione ze zgrubnymi, zgrubne z wykończonymi, itd.

Wymiary koordynujące umożliwiają rozpatrywanie części jako połączenia różnych faz obróbki: kształtu półfabrykatu, kształtu po obróbce zgrubnej, kształtu gotowego wyrobu. Odpowiednio są opracowane główne zasady sprawdzenia wymiarów części:

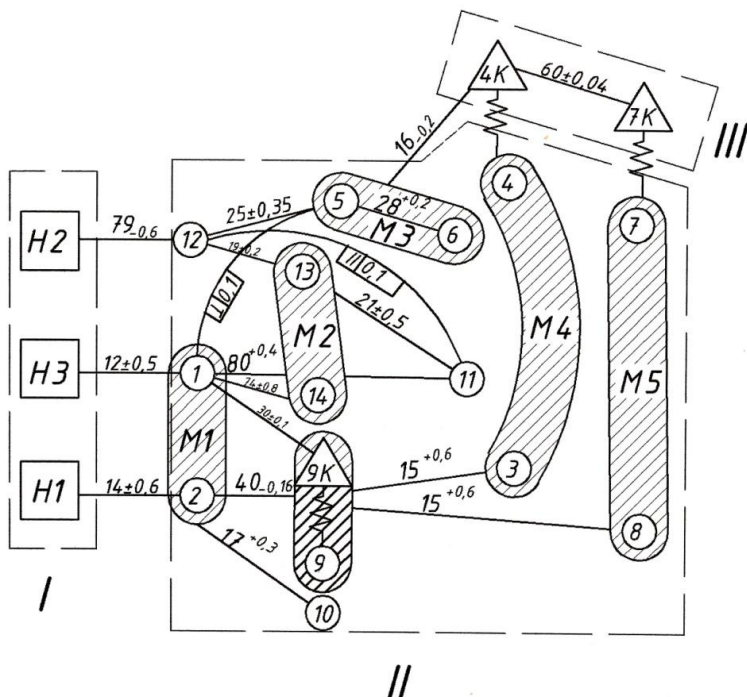
1. Powierzchnie, ukształtowane w tej samej fazie obróbki, są powiązane wymiarami tylko pomiędzy sobą (czyli w granicach uzyskanego kształtu).
2. Każdy zarys (kształt) części jest powiązany z sąsiednim tylko za pomocą jednego wymiaru koordynacyjnego według każdej ze współrzędnych.

Powierzchnie półfabrykatów są powiązane, na przykład, z powierzchniami zarysu (kształtu) zgrubnego tylko jednym wymiarem według każdej ze współrzędnych osi. W przypadku części (rys. 3.26) można wyodrębnić następujące rodzaje wymiarów, wiążących jej powierzchnie w kierunku osiowym:

- wymiary wiążące powierzchnie półfabrykatu ($260^{+1,2}_{-0,8}$, $10^{+0,5}_{-0,5}$),
- wymiary wiążące powierzchnie zarysu (kształtu) zgrubnego ($300^{+0,3}_{-0,3}$, $120^{+0,3}_{-0,3}$),
- wymiary wiążące powierzchnie zarysu końcowego ($25 \pm 0,05$),
- wymiary koordynacyjne między powierzchniami półfabrykatu i zarysu zgrubnego ($16 \pm 0,2$) oraz zarysu zgrubnego i końcowego ($150^{+0,08}$).



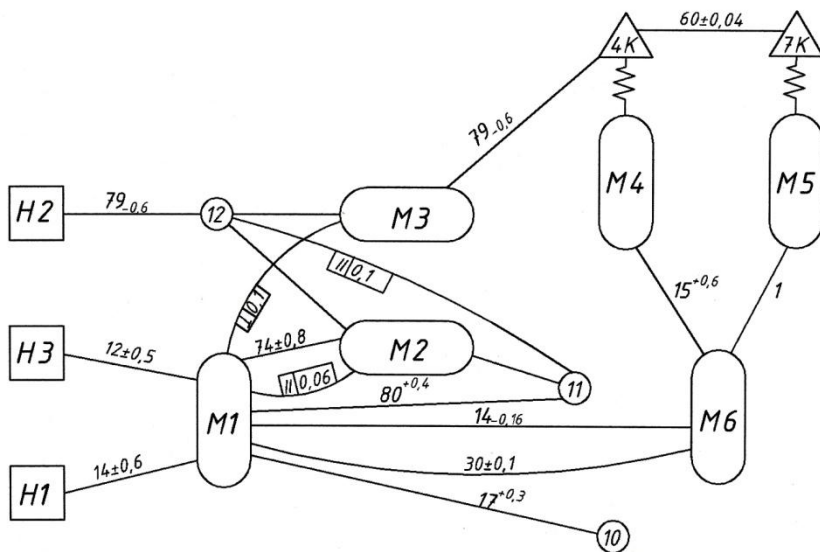
Rys. 3.26. Przykład analizy wymiarowej części



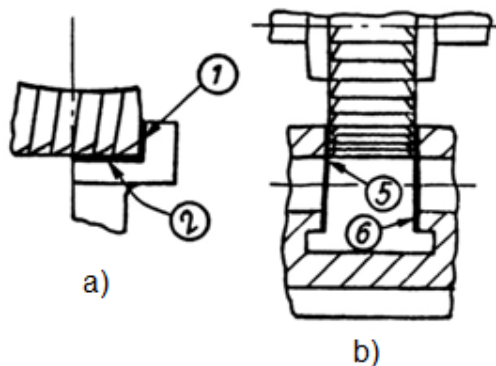
Rys. 3.28. Połączenia między powierzchniami oporów geometrycznych i wymiarowych: I – zarys półfabrykatu, II – zarys zgrubny, III – zarys końcowy, M1–M5 – moduły powierzchni

Podczas opracowania technologii obróbki dowolnej części zaleca się wykorzystywać rozwiązania technologiczne stosowane w produkcji masowej, jako najbardziej zbliżone do idealnych. Właściwości technologiczne produkcji elastycznej (wysoka koncentracja obróbki, skrócone marszruty, elastyczność, autonomiczność obrabiarki) determinują jednak zmiany w technologii obróbki. W przypadku części przedstawionej na rys. 3.27, w warunkach produkcji masowej należałoby obrobić powierzchnie 3, 4, 5, 6, 7, 8 zestawem złożonym z trzech frezów. W warunkach produkcji elastycznej spowodowałoby to jednak obniżenie elastyczności obrabiarki, zwiększenie obciążenia obrabiarek i wzrost wibracji skrawania przy konsolowym zamocowaniu frezów. Dlatego powierzchnie te są obrabiane oddzielnymi frezami; przy tym powstają moduły M3, M4, M5.

Zamiana powierzchni odpowiednimi modułami tworzy modyfikowany graf wymiarowych i geometrycznych związków części (rys. 3.29). Przykłady realizacji modułów są pokazane na rys. 3.30.



Rys. 3.29. Połączenia między powierzchniami i modułami powierzchni podпоры



Rys. 3.30. Schematy budowy modułów M1(a) i M3(b)

Powierzchnie tworzące moduł w ogólnym przypadku są określane, jako:

$$M = \begin{cases} \text{obrabiana jednym narzędziem} \\ \text{bez ponownego mocowania} \end{cases} \quad (3.21)$$

Wtedy moduły $M1-M6$ można zapisać jako:

$$\begin{aligned} M1 &= P1\mu P2; & M2 &= P13\mu P14; & M3 &= P5\mu P6; \\ M4 &= P3\mu P4; & M5 &= P7\mu P8; & M6 &= P9\mu P9K. \end{aligned} \quad (3.22)$$

3.3.5. Wybór baz i określanie kolejności obróbki powierzchni [3.13]

W trakcie projektowania procesu należy wybrać bazy technologiczne. Bazy w dużym stopniu wpływają na dokładność uzyskiwanych w trakcie obróbki wymiarów części, a także wszystkich głównych elementów procesu: długość marszruty technologicznej, złożoność urządzeń, czas obróbki części.

Bazy technologiczne podczas obróbki są zmieniane tylko w przypadkach:

- gdy nie jest możliwa obróbka wszystkich powierzchni części przy jednym zamocowaniu,
- kiedy część, aby uzyskać odpowiednią dokładność lub zmniejszyć koszty, należy obrabiać na kilku obrabiarkach.

Obróbkę półfabrykatów rozpoczyna się od powierzchni, które będą wykorzystywane, jako bazy technologiczne. Powierzchnie te są wybierane w oparciu o zasadę stałości baz i zasadę łączenia baz.

Zasada stałości baz zakłada wykorzystywanie tych samych baz technologicznych przy wykonywaniu możliwie największej liczby operacji technologicznych, ponieważ każda zmiana baz technologicznych powoduje dodatkowe błędy.

Zasada stałości baz jest częściowo spełniona w przypadku zastosowania tych samych baz technologicznych przy obróbce najważniejszych powierzchni, związanych między sobą warunkami technologicznymi.

Zasada łączenia baz polega w użyciu baz konstrukcyjnych i pomiarowych, jako technologicznych. W tym przypadku zmniejsza się długość technologicznych łańcuchów wymiarowych, co daje możliwość uniknięcia nieracjonalnego zmniejszenia odchyłek.

Po określeniu baz technologicznych dla następnych operacji należy je przygotować na pierwszych operacjach, ustalając część na bazach zgrubnych. Jako bazy dla pierwszych operacji (zgrubne) są wybierane powierzchnie, które pozostaną nieobrobionymi, co umożliwia lepsze rozmieszczenie obrobionych powierzchni względem nieobrobionych i równomierne naddatki na obróbkę. Bazy zgrubne muszą mieć dużą powierzchnię, być gładkie i równe, zajmować stabilne położenie względem obrabianych powierzchni, co umożliwia zamocowanie półfabrykatów w urządzeniach oraz zmniejszenie wibracji.

Baza zgrubna w marszrucie technologicznej może być wykorzystana tylko jeden raz – wszystkie następne operacje muszą być wykonywane przy zastosowaniu baz (powierzchni) wcześniej obrobionych. Jest to związane tym, że dokładność baz zgrubnych jest zawsze mniejsza od dokładności powierzchni obrobionych [3.25,3.27].

Przy wyborze baz technologicznych w pierwszej kolejności analizowane są powierzchnie, jako ewentualne bazy, od których jest określona największa ilość związków wymiarowych i geometrycznych według każdej z osi współrzędnych. Takie powierzchnie można łatwiej zidentyfikować przy zastosowaniu grafu związków powierzchni części wymiarowych i geometrycznych.

Przejście od obróbki jednych powierzchni do obróbki innych często wymaga ponownego zamocowania części. W celu zapewnienia dokładności nowe bazy muszą być poprzednio obrobione, co pozwala określić wymagania odnośnie kolejności obróbki powierzchni części.

Wyznaczanie kolejności obróbki powierzchni jest łatwiejsze przy zastosowaniu grafu wymiarowego i geometrycznego oraz związków między nimi.

Baza informacyjna procesu projektowania funkcjonalnego zawiera dane informacyjno-normatywne oraz techniczne, a także wskaźniki ekonomiczne.

Do wyznaczenia optymalnego wariantu obróbki wielooperacyjnej (wieloprzejściowej), należy ustalić ogólne zasady wyboru, a także kolejność czynności przy poszukiwaniu najlepszego wariantu. Ze zbioru możliwych wariantów należy określić najlepszą, w przypadku konkretnych warunków obróbki.

Przy obróbce (wieloprzejściowej) wielooperacyjnej każda poprzednia operacja albo przejście istotnie wpływa na następną, co ma istotne znaczenie dla dokładności obróbki.

Rozpatrzono w jaki sposób jest realizowana strukturalizacja procesu obróbki mechanicznej części. W celu formalnego określenia kolejności obróbki powierzchni części, wprowadzono pojęcie binarnego stosunku pierwszeństwa π . Analiza struktury tradycyjnych procesów obróbki mechanicznej i montażu pokazuje, że kolejność operacji i przejść jest wybierana, w większości przypadków, warunkowo. Kolejność ta jest określana intuicją projektanta i jest daleka od optymalnej. W ogólnym przypadku można uważać, że warunki realizacji przejścia technologicznego zależą od poprzednich przejść, w których były wykonywane na przykład bazy lub obrabiana powierzchnia powiązana pewnymi warunkami, tworzone były warunki ochrony przed uszkodzeniami powierzchni stykającej się z urządzeniem lub powierzchnia była przygotowywana do powlekania, itd.

Przejście technologiczne może tworzyć warunki do wykonania kolejnych przejść lub zapewnienia określonych parametrów jakości wyrobu [3.21,3.22]. Każde przejście technologiczne, w strukturalno-technologicznym schemacie obróbki, charakteryzuje się związkami przyczynowymi wejściowymi i wyjściowymi, a więc musi zajmować w nim odpowiednie miejsce (rys.3.31).



Rys. 3.31. Związki przyczynowe technologiczne przejścia

Na przejścia technologiczne nakładają się stosunki pierwszeństwa, które pozwalają wyznaczyć najlepszą kolejność wytwarzania wyrobu [3.24]. Pod stosunkiem pierwszeństwa rozumie się stosunek dwóch czy więcej obiektów, w przypadku którego są charakterystyczne następujące zasady:

1. Żaden obiekt nie poprzedza sam siebie;
2. Jeżeli obiekt *A* poprzedza obiekt *B*, a obiekt *B* poprzedza obiekt *C*, to obiekt *A* poprzedza również obiekt *C*;
3. Każdy niepusty zbiór obiektów zawsze zawiera pierwszy obiekt, czyli obiekt, poprzedzający wszystkie inne obiekty zbioru.

Na obróbkę części maszyn mają wpływ ograniczenia: funkcjonalne, konstruktorskie i technologiczne. Można, więc wyróżnić trzy grupy sprzeczności w stosunkach pierwszeństwa, a mianowicie:

- funkcjonalne stosunki pierwszeństwa nałożone przez warunki funkcjonowania części
- konstrukcyjne stosunki pierwszeństwa nałożone przez warunki układu przestrzennego powierzchni w części;
- technologiczne stosunki pierwszeństwa nałożone przez warunki obróbki części.

Ograniczenia te wyznaczają związki przyczynowe elementów konstrukcyjnych wyrobu, określane stosunkami pierwszeństwa i oznaczone literą " π ". Poprawność określenia sposobu utworzenia elementów konstrukcyjnych wyrobu wyznacza jakość zbudowanego schematu strukturalno-technologicznego. Elementy konstrukcyjne wyrobu są określane zbiorem $E = (e1, y2, \dots)$.

Wyznaczane są związki przyczynowe pierwszeństwa elementów konstrukcyjnych wyrobu w postaci grafu $G\pi$ albo jego macierzy $M\pi$. Macierz pierwszeństwa jest budowana w następujący sposób. Na skrzyżowaniu *i*-tej kolumny i *j*-go wiersza stawia się jedynkę, jeśli *i*-ty element konstrukcyjny poprzedza *j*-ty, albo zero – w przeciwnym przypadku. Macierz związków przyczynowych wygląda następująco:

$$M\pi(e) = |E \times E| =$$

	e_{11}	e_{12}	...	e_{ij}	...	e_{nm}
E_{11}						
...	1					
E_{ij}	1	1			1	
...		1	1			
e_{nm}						

Każdy element macierzy spełnia wymagania:

$d_{ij} = 1$ – jeżeli i -ty konstruktywny element poprzedza j -ty,
 0 – w przeciwnym wypadku.

Ponieważ elementy konstrukcyjne wyrobu są realizowane w wyniku odpowiednich przejść technologicznych, to związki przyczynowe między tymi elementami wyznaczają stosunek pierwszeństwa pomiędzy przejściami technologicznymi. Wyraz $F_i \pi F_j$, gdzie $F_i, F_j \notin TP$, oznacza, „przejście technologiczne F_i , które poprzedza przejście technologiczne F_j , jeżeli są elementami w procesie technologicznego”. W oparciu o odpowiedniość pomiędzy elementami konstrukcyjnymi wyrobu i przejściami technologicznymi, które je tworzą, można przejść od macierzy pierwszeństwa elementów konstrukcji $M\pi(e)$ do macierzy pierwszeństwa przejść technologicznych $M\pi(F)$, w której stawia się jedynekę, jeśli i -te przejście technologiczne poprzedza j -te, lub zero – w przeciwnym przypadku. Macierz pierwszeństwa przejść technologicznych, w tym przypadku ma postać:

$$M\pi(F) = |F \times F| =$$

	F1	F2	...	F _n
F1				
F2	1			
...	1	1		
F _n		1	1	

Sformalizowana procedura wyznaczenia kolejności elementarnych przejść technologicznych w każdym, z których obrabiana jest jedna powierzchnia, zostanie zilustrowana na przykładzie obróbki mechanicznej. Procedura ulegnie znacznemu uproszczeniu przy zastosowaniu grafu związków geometrycznych powierzchni. Część B jest opisywana, jako połączenie powierzchni, związanych geometrycznie, w przypadku których należy wyznaczyć kolejność ich obróbki, czyli:

$$B = (P1, P2, P3, \dots). \quad (3.23)$$

Zapisuje się funkcjonalne, geometryczne i technologiczne stosunki pierwszeństwa, nakładane na powierzchnie części w macierzy pierwszeństwa. W macierzy każdy związek pierwszeństwa między dwiema powierzchniami jest oznaczony jedyneką. Do wyznaczenia ogólnej liczby takich związków w przypadku każdej powierzchni, którą należy obrobić, są sumowane jedyneki w każdym wierszu macierzy, a suma jest zapisywana w kolumnie, co pokazuje stopień zależności technologicznej obróbki danej powierzchni od innych powierzchni części. Zapisuje się sumę jedynek w każdej kolumnie macierzy, co charakteryzuje stopień technologicznego dziedziczenia powierzchni, czyli ich wpływ na obróbkę innych powierzchni.

Tab. 3.12. Identyfikacja stopnia dziedziczenia powierzchni

P – Powierzchnia, która jest obrabiana	Powierzchnia, która musi być wcześniej obrobiona					Bo Stopień zależności powierzchni
	P1	P2	P3	P4	P5	
P1						0
P2	1					1
P3	1					1
P4		1	1			2
P5				1		1
Stopień dziedziczenia powierzchni	2	1	1	1	0	

Kolejność obróbki określa się kierując się następującymi wskazówkami.

1. Pierwsza jest obrabiana powierzchnia, nie wymagają poprzedzającej obróbki innych powierzchni, czyli w kolumnie stopni zależności jest zero (brak zależności pierwszeństwa).
2. Przy obróbce tej powierzchni wszystkie stosunki pierwszeństwa, znajdujące się w kolumnie tej powierzchni są odejmowane od wartości, wskazanych w słupku sumarycznych stopni zależności. Wynikowe wartości opisują nowy stan części po pierwszym etapie obróbki. W celu wyznaczenia następnej powierzchni do obróbki jest powtarzany etap 1, a następnie procedura jest powtarzana.
3. W przypadku jednocześnie kilku powierzchni o zerowym stopniu zależności, mogą być one obrobione w jednym etapie, albo być uporządkowane, zgodnie z następującymi wymogami:
 - w pierwszej kolejności jest obrabiana powierzchnia o najwyższym poziomie dziedziczenia technologicznego, co umożliwia minimalizację liczby zamocowań części,
 - w przypadku, gdy takich powierzchni jest kilka, w pierwszej kolejności obrabiana ta jest o najwyższej dokładności wymiaru koordynującego,

- jeżeli takich powierzchni też jest kilka to jako pierwsza jest obrabiana ta, której wymiary są najbardziej zbliżone do bazy wymiarów, co umożliwia zmniejszenie ruchów jałowych.

Wiersz w przypadku powierzchni P1, który ma stopień zależności $P1=0$, pokazuje więc, że powierzchnia P1 nie wymaga obróbki poprzedzającej innych powierzchni. Dlatego też od niej należy zacząć obróbkę części. Po obróbce powierzchni P1 będą zrealizowane wszystkie stosunki pierwszeństwa, w kolumnie P1, a macierz pierwszeństwa przyjmie postać przedstawioną w tab. 3.13.

Tab. 3.13. Identyfikacja stopnia dziedziczenia powierzchni

P	P1	P2	P3	P4	P5	B0	B1
P1						0	P1
P2	1					1	0
P3	1					1	0
P4		1	1			2	2
P5				1		1	1

W kolumnie macierzy pierwszeństwa, po wykonaniu pierwszego etapu obróbki, jest zapisana różnica kolumn B0 i P1, która określa niezrealizowane stosunki pierwszeństwa. W drugim etapie są obrabiane powierzchnie, nieposiadające stosunków pierwszeństwa, czyli powierzchnie o zerowych stopniach zależności ($P2=0$, $P3=0$). Powtarzając poprzednią procedurę z wyznaczeniem różnicy kolumn B1 i ($P2+P3$), są określane powierzchnie do następnych etapów obróbki. Jak widać, część może być obrobiona w ciągu czterech etapów B1 : B2 : B3 : B4, zgodnie z macierzą określającą etapy obróbki.

Otrzymano, przy zastosowaniu sformalizowanej procedury, kolejność przejść technologicznych obróbki powierzchni części (rys. 3.32), realizowaną w trakcie czterech etapów obróbki. W oparciu o tę strukturę można zbudować wiele wariantów procesu technologicznego obróbki, różniących się rodzajem urządzeń, stopniem koncentracji obróbki, równoległą lub szeregową realizacją poszczególnych operacji, dlatego też w kolejnym etapie optymalizacji jest generowany zbiór możliwych wariantów.

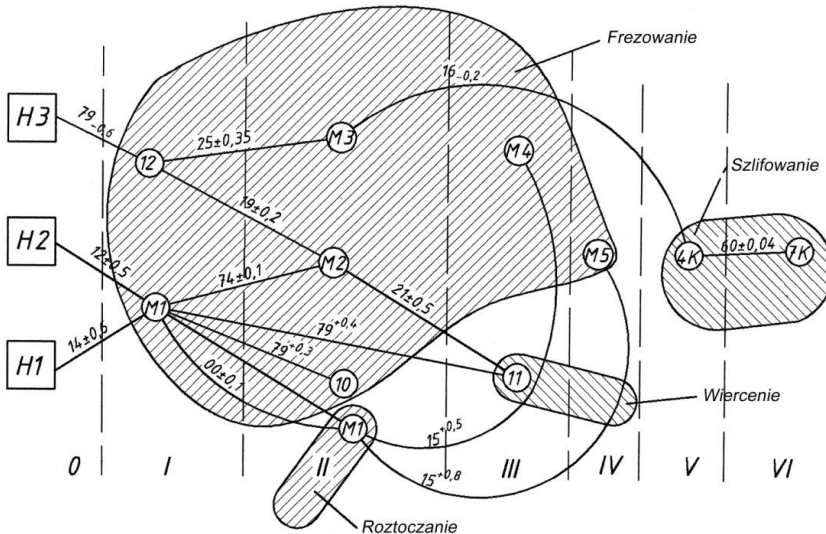
Tab. 3.14. Etapy obróbki

	P1	P2	P3	P4	P5	B0	B1	B2	B3	B4
P1						0	P1			
P2	1					1	0	P2		
P3	1					1	0	P3		
P4		1	1			2	2	0	P4	
P5				1		1	1	1	0	P5

Otrzymana kolejność etapów obróbki (rys. 3.33) jest wyznaczana na podstawie schematu wymiarowego części. Najwyższa koncentracja operacji może być uzyskana w wyniku połączenia etapów, wymagających jednakowych metod obróbki:

- frezowanie powierzchni $M1$, $P12$, $M2$, $M3$, $P10$, $M4$, $M5$ w kilku zamocowaniach;
- roztaczanie otworów $P9$ i $P9K$;
- wiercenie otworu $P11$;
- szlifowanie powierzchni $P4K$ i $P7K$ w dwóch zamocowaniach.

W warunkach produkcji zautomatyzowanej połączenie kilku etapów w operację według metody obróbki (lub zastosowania obrabiarki jednego typu) nie zawsze jest zalecane, ponieważ w tym przypadku komplikuje się automatyzacja czynności pomocniczych (zamocowania części). Dzięki rozszerzeniu możliwości technologicznych obrabiarek CNC, można połączyć poszczególne etapy w operacje wychodząc z warunków dostępności powierzchni do narzędzi i zapewnienia odpowiedniej dokładności ich wzajemnego rozkładu. Zastosowanie wielocelowej obrabiarki CNC, za pomocą której jest wykonywane frezowanie, wiercenie i roztaczanie, daje możliwość połączenia w jedną operację etapów II, III i IV. Należy przy tym dokonać przeliczenia schematu wymiarowego części w związku ze zmianą baz technologicznych. Jeśli zastąpić szlifowanie powierzchni 4K i 7K frezowaniem wykańczającym, to etapy V i VI wejdą w skład jednej operacji.



Rys. 3.33. Etapy obróbki podopry obrotowej

W warunkach produkcji masowej, części przeciwnie, niektóre etapy należy rozdzielić na oddzielne operacje. Na przykład, etap I można rozdzielić na dwie operacje: 1) obróbka powierzchni $MI = \{PI, P2\}$, 2) obróbka powierzchni $PI2$.

Powierzchnie $P3, P4, P5, P6, P7$ i $P8$ należy obrobić zestawem frezów, a więc przy opracowaniu schematu wymiarowego części trzeba je połączyć w jeden moduł.

Rozdzielanie niektórych etapów na kilka operacji daje możliwość utworzenia kilka marszrut obróbki części, równorzędnych z punktu widzenia dokładności obróbki. Najlepszy z nich jest wybierany do realizacji, a pozostałe są wariantami rezerwowymi. Marszrut rezerwowe znajdują zastosowanie w przypadku zmiany warunków przebiegu procesów zewnętrznych lub wewnętrznych (uszkodzenia urządzenia, przerwy w dostarczeniu półwyrobów, narzędzi). Rezerwowe marszrut technologiczne powstają na trzy sposoby:

- zmiana stopnia koncentracji albo dyferencjacji etapów obróbki powierzchni części,
- zmiana kolejności wykonania operacji w ramach jednego etapu (przy dyferencjacji etapów),
- zmiana kolejności wykonania etapów, wymagająca zmiany schematu wymiarowego części i przeliczenia łańcuchów wymiarowych.

Podczas opracowania operacji technologicznych na podstawie otrzymanych, w oparciu o analizę wymiarową schematu części, etapów obróbki należy uwzględnić:

- bazy technologiczne,
- metody obróbki powierzchni i elementów konstrukcyjnych części,
- rozkład powierzchni i elementów konstrukcyjnych w części,
- poziom unifikacji elementów konstrukcyjnych,
- możliwości technologiczne urządzenia.

W warunkach produkcji zautomatyzowanej głównym zadaniem, na tym etapie opracowania technologii, jest osiągnięcie maksymalnego stopnia koncentracji przejść.

Opracowanie operacji złożonych. W tym celu badany jest zbiór przejść każdego i -go etapu marszrut technologicznej:

$$E_i = \left\{ \mu_i(P_k) \right\}, \quad (3.24)$$

gdzie: E_i – nazwa etapu,
 μ_i – metoda obróbki wyrobu,
 P_k – na odpowiednim etapie.

Zbiór przejść można podzielić na podzbiory (złożone operacje A), odpowiednio do możliwości technologicznych sprzętu.

$$W : \{\mu_1(P_1), \mu_2(P_2), \dots \rightarrow M(A_i)\}, \quad (3.27)$$

gdzie: W – algorytm rozdzielania według wskazanych oznak albo warunków logicznych,
 $M(A_i)$ – zbiór wariantów operacji złożonych, otrzymanych po podziale.

W wyniku rozwiązania tego zadania może powstać kilka wariantów operacji złożonych, charakteryzujących się maksymalnie możliwą w przypadku konkretnego wyrobu koncentracją przejść.

Uporządkowywanie operacji złożonych. Po dokonaniu analizy poszczególnych operacji złożonych obróbki wyrobu jest określana kolejność ich realizacji.

Każda operacja złożona może być wykonywana na określonym etapie realizacji marszruty $r = 1, 2, 3, \dots$. Następuje uporządkowywanie operacji według etapów:

$$W_A : \{A_1, A_2, \dots\} \rightarrow \{(A_1, A_3, \dots)^1, (A_2, A_5, \dots)^2, \dots, (A_4, K_j)^k\}. \quad (3.26)$$

W nawiasach są grupy operacji złożonych z jednakowego etapu, na przykład $r = 1, r = 2, \dots$.

3.3.6. Analiza wymiarowa procesu obróbki mechanicznej [3.13]

Podczas projektowania procesu technologicznego obróbki części powstaje pewna kolejność kształtowania związków wymiarowych i geometrycznych między powierzchniami. Każdy związek wymiarowy określa wymiar liniowy, związujący dwie powierzchnie, z których jedna jest obrabiana, a druga jest bazą technologiczną. W wyniku zmiany mocowania części w trakcie obróbki analiza wymiarowa daje możliwość określenia początkowych wymiarów półfabrykatu oraz wymiarów pośrednich części na różnych etapach jej obróbki, a także wielkości naddatków.

Im większy jest stopień rozdrabniania procesu technologicznego, tym bardziej jest skomplikowana jego analiza wymiarowa i odwrotnie, czym wyższa koncentracja operacji i krótsza marszruta technologiczna obróbki, tym łatwiej zapewnić wymaganą dokładność wymiarów części. Ponieważ powierzchnie są rozmieszczone w sposób skomplikowany w objętości części, to analizę wymiarową przeprowadza się, przy zastosowaniu prostokątnego układu współrzędnych związanego z częścią. Związki wymiarowe są rozpatrywane w kierunku każdej osi współrzędnych. Na przykład u korpusów analiza

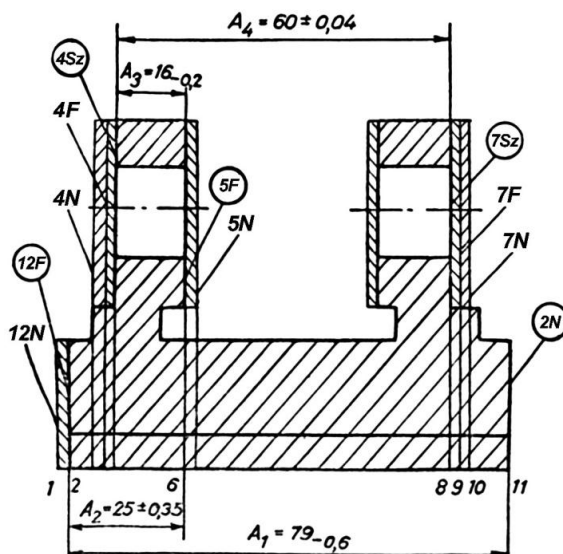
wymiarowa jest prowadzona w kierunku trzech osi współrzędnych XYZ, części płaskich w kierunku dwóch osi współrzędnych XY, a brył obrotowych tylko w kierunku osi Z.

Tab. 3.15. Kolejność obróbki powierzchni części wzdłuż osi Z

Nr operacji	Treść operacji	Baza	Naddatek minimalny, μm
1	Frezować powierzchnię 12	N2	1000
2	Frezować powierzchnię 5	12F	900
3	Frezować powierzchnię 4	5F	1000
4	Frezować powierzchnię 7	4F	1000
5	Szlifować powierzchnię 4	5F	200
6	Szlifować powierzchnię 7	4Sz	250

Rozpatrzona zostanie kolejność wykonania analizy wymiarowej procesu technologicznego obróbki części (rys. 3.27) przy średnim stopniu dyferencjacji obróbki, kiedy każdy etap obróbki jest wykonywany, jako oddzielna operacja technologiczna. Przeanalizowano warunki zapewnienia dokładności powierzchni części w kierunku osi Z. Kolejność obróbki określona według rys. 3.33, jest przedstawiona w tab. 3.15.

Schemat wymiarowy części w kierunku Z jest przedstawiony na rys. 3.34.

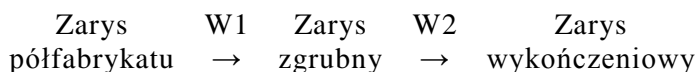


Rys. 3.34. Schemat wymiarowy związków powierzchni podparty powrotnej: nieobrobionych (N), frezowanych (F) i szlifowanych (Sz)

Zbudowano graf zależności konstrukcyjnych między powierzchniami G_K , którego wierzchołki odpowiadają powierzchniom na różnych etapach obróbki, a krawędzie – wymiarom konstrukcyjnym lub naddatkom na obróbkę (rys. 3.35 a). Zbudowano również graf związków technologicznych między tymi powierzchniami G_T , którego krawędzie odpowiadają wymiarom technologicznym części (rys. 3.44 b). Wymiary, związujące powierzchnie zarysu nieobrobionego, mają indeks E , wymiary między powierzchniami obrobionego konturu – indeks U , wymiary koordynujące – indeks W . Połączywszy oba grafy G_K i G_T otrzymano graf uogólniony G_{K-T} (rys. 3.35 c), którego każdy zamknięty obwód tworzy łańcuch wymiarowy. Ogniwnem zamykającym każdego z otrzymanych łańcuchów wymiarowych może być tylko krawędź grafu konstrukcyjnego: wymiar konstrukcyjny części lub naddatek na obróbkę.

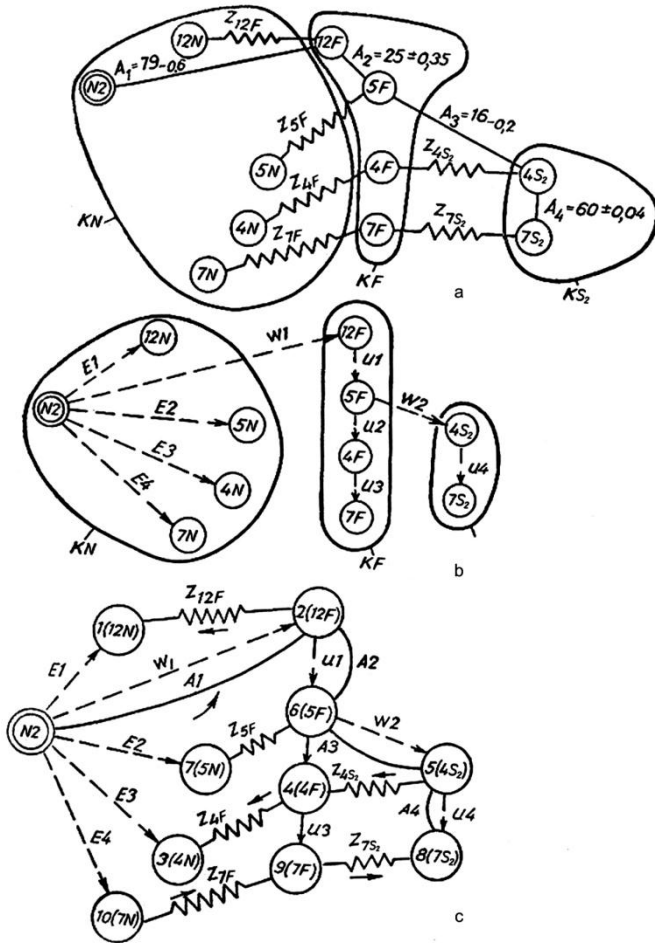
Ponumerowano, w celu łatwiejszej analizy powierzchni, części wzdłuż osi Z od lewej strony do prawej: $1(12N)$, $2(12F)$, $3(4N)$, $4(4F)$, $5(4S_z)$, $6(5F)$, $7(5N)$, $8(7S_z)$, $9(7F)$, $10(7N)$, $11(N2)$. Jako wierzchołek początkowy k grafów G_T i G_{K-T} wybrano powierzchnię, od której jest rozpoczynana obróbka części. Została ona oznaczona podwójnym krążkiem. Graf G_T daje dodatkowo możliwość przekonania się o słuszności oznaczenia wymiarów, a mianowicie: powierzchnie każdego z zarysów są powiązane tylko między sobą, a same zarysy (półfabrykat zgrubny, wykończeniowy) są związane pomiędzy sobą tylko jednym wymiarem koordynacyjnym wzdłuż osi Z .

Schemat strukturalny wymiarów części można, więc przedstawić, jako:



Kolejność wyróżniania łańcuchów wymiarowych jest podporządkowana regułom:

1. Każdy łańcuch wymiarowy powinien zawierać tylko jedno ogniwo grafu konstrukcyjnego G_K i niezbędną dla spięcia łańcucha ilość ogniw grafu technologicznego G_T .
2. Każdy łańcuch wymiarowy powinien zawierać jak najmniejszą ilość ogniw.
3. Tego samego wymiaru nie wolno włączać kilkakrotnie do łańcucha wymiarowego.
4. Ogniwo zamykające ma znak „minus” i określa kierunek łańcucha od wierzchołka o większym numerze do wierzchołka o numerze mniejszym.



Rys. 3.35. Schematy podpory powrotnej: konstrukcyjny (a), technologiczny (b) i połączony (c); zarys powierzchni: KN – nieobrobionych, KF – frezowanych, KSz – kontur szlifowanych

5. Jeśli w tym kierunku obchodu składowe ogniwo łączy wierzchołek o mniejszym numerze z wierzchołkiem o większym numerze, to ogniwo wchodzi w równanie łańcucha wymiarowego ze znakiem „plus”, w przeciwnym przypadku – ze znakiem „minus”. Po wyznaczeniu ogniw, wchodzących do równania łańcucha wymiarowego, równanie jest przekształcane w taki sposób, aby ogniwo zamykające było w jego lewej części. Ogniwa ze znakiem „plus”, to ogniwa zwiększające, ze znakiem „minus” – zmniejszające.

6. Kolejność wyodrębniania z grafu uogólnionych związków wymiarowych G_{K-T} poszczególnych łańcuchów wymiarowych jest następująca: najpierw określone są łańcuchy wymiarowe, które zawierają dwa ogniwa, a potem łańcuchy wymiarowe z wymiarami technologicznymi, które odpowiadają kolejności, odwrotnej do kolejności wykonania operacji technologicznych.

Tab. 3.16. Równania łańcuchów wymiarowych

Nr	Równania łańcucha wymiarowego	Przekształcone równania łańcucha wymiarowego	Wymiar, który należy wyznaczyć
1	$-A1+W1=0$	$A1=W1$	W1
2	$-A2+U1=0$	$A2=U1$	U1
3	$-A3+W2=0$	$A3=W2$	W2
4	$-A4+U4=0$	$A4=U4$	U4
5	$-Z4_{sz}+U2-W2=0$	$Z4_{sz}=U2-W2$	U2
6	$-Z7_{sz}-U4+W2-U2+U3=0$	$Z7_{sz}=W2+U3-U2-U4$	U3
7	$-Z12_F+E1-W1=0$	$Z12_F=E1-W1$	E1
8	$-Z5_F-E2+W1-U1=0$	$Z5_F=W1-U1-E2$	E2
9	$-Z4_F-E3-W1+U1-U2=0$	$Z4_F=E3+U1-U2-W1$	E3
10	$-Z7_F-U3+U2-U1+W1-E4=0$	$Z7_F=W1+U2-U1-U3-E4$	E4

W grafie uogólnionym G_{k-m} (rys. 3.35 c) wyróżniono łańcuchy wymiarowe, mające tylko jeden wymiar konstrukcyjny A lub Z , należący do grafu G_k . Liczba łańcuchów wymiarowych musi odpowiadać liczbie niewiadomych wymiarów technologicznych grafu G : $E1, E2, E3, E4, U1, U2, U3, U4, W1, W2$. Równania łańcuchów wymiarowych w kolejności ich wyodrębniania są przedstawione w tab. 3.16, a schemat łańcuchów wymiarowych jest pokazany na rys. 3.36.

Do rozwiązania równań należy wyznaczyć najmniejsze naddatki na obróbkę, a także tolerancje wymiarowe części na różnych etapach jej obróbki. Z jednej strony, naddatek na obróbkę musi być jak najmniejszy, żeby zmniejszyć zakres obróbki mechanicznej skrawaniem, natomiast z innej strony, zaniżone wartości naddatku mogą być zbyt małe do usunięcia błędów poprzedniej obróbki, albo powodować przyspieszone zużycia narzędzi skrawających zniekształconą warstwę metalu o większej twardości. Optymalna wartość minimalnie dopuszczalnych naddatków jest określana w sposób tabelaryczny lub analitycznie. Wyznaczono, na podstawie tabel, najmniejszy naddatek na różnych etapach obróbki (tab. 3.15).

Łańcuchy wymiarowe są obliczane w następnej kolejności. Łańcuchy wymiarowe o dwóch ogniwach 1–4 (tab. 3.16), w których wymiary technologiczne pokrywają się z konstrukcyjnymi, umożliwiają bezpośrednie wyznaczenie wymiarów:

$$W1 = 79_{-0,6}; U1 = 25 \pm 0,35; W2 = 16_{-0,2}; U4 = 60 \pm 0,04 \text{ mm.}$$

Łańcuch wymiarowy 5. Równanie główne łańcucha wymiarowego po przekształceniu:

$$Z4_{Sz} = U2 - W2; Z4_{Sz} = U2 - 16_{-0,2},$$

albo

$$Z4_{Sz,min} = U2_{min} - W2_{max}; 0,2 = U2_{min} - 16,0;$$

otrzymujemy gdy $U2_{min} = 16,2$ mm. Następnie określa się tolerancję wymiaru $U2$ odpowiednio $IT11$, którą zapewni frezowanie zgrubne. Według tabeli tolerancji, otrzymuje się $TU2 = 0,110$ mm.

Wtedy:

$$U2_{max} = U2_{min} + TU2 = 16,2 + 0,11 = 16,32 \text{ mm},$$

a rozmiar $U2 = 16_{+0,110}^{+0,310}$ mm. Wartość nominalną i tolerancję naddatku wyznacza się jako:

$$Z4_{Sz} = U2 - W2 = 16_{+0,110}^{+0,310} - 16_{-0,2} = 0,2_{+0,31}^{+0,31},$$

$$Z4_{Sz,max} = 0,51 \text{ mm}.$$

Łańcuch wymiarowy 6. Główne równanie wymiarowego łańcucha po przekształceniu:

$$Z7_{Sz} = U2 - W2 + U3 - U2 - U4 = 16_{-0,2} + U3 - 16,2_{+0,11} - 60_{+0,04}^{+0,04},$$

$$Z7_{Sz,min} = W2_{min} + U3_{min} - U2_{max} - U4_{max},$$

$$Z7_{Sz,min} = 15,8 + U3_{min} - 16,32 - 60,04,$$

$$Z7_{Sz,min} = 0,25,$$

$$U3_{min} = 0,25 + 16,32 + 60,04 - 15,8 = 60,81 \text{ mm}.$$

Tolerancja wymiaru $U3$ odpowiada dokładności $IT11$ jak w przypadku frezowania zgrubnego:

$$TU3 = T[60h11] = 0,190 \text{ mm}$$

Stąd otrzymuje się:

$$U3_{max} = U3_{min} + TU3 = 60,81 + 0,190 = 61 \text{ mm}$$

Ostatecznie:

$$U3 = 61_{-0,19} \text{ mm}$$

Łańcuch wymiarowy 7. Równanie główne łańcucha ma postać:

$$\begin{aligned} Z12_F &= E1 - W1 = E1 - 79_{-0,6} \\ Z12_{F,\min} &= E1 - W1_{\max} \end{aligned}$$

Tolerancja wymiaru półfabrykatu $\pm 0,6$ mm, stąd $E1_{\text{nom}} = 81,2$ mm, $E1_{\text{max}} = 81,8$ mm i ostatecznie $E1 = 81,2 \pm 0,6$ mm.

Łańcuch wymiarowy 8. Równanie główne łańcucha ma postać:

$$\begin{aligned} Z5_F &= W1 - U1 - E2 = 79_{-0,6} - 25 \pm 0,35 - E2, \\ Z5_{F,\min} &= 78,4 - 25,35 - E2_{\max}, \\ 0,9 &= 78,4 - 25,35 - E2_{\max}, \\ E2_{\max} &= 52,15 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Tolerancja wymiaru półwyrobu jest równa $\pm 0,4$ mm. Stąd otrzymuje się:

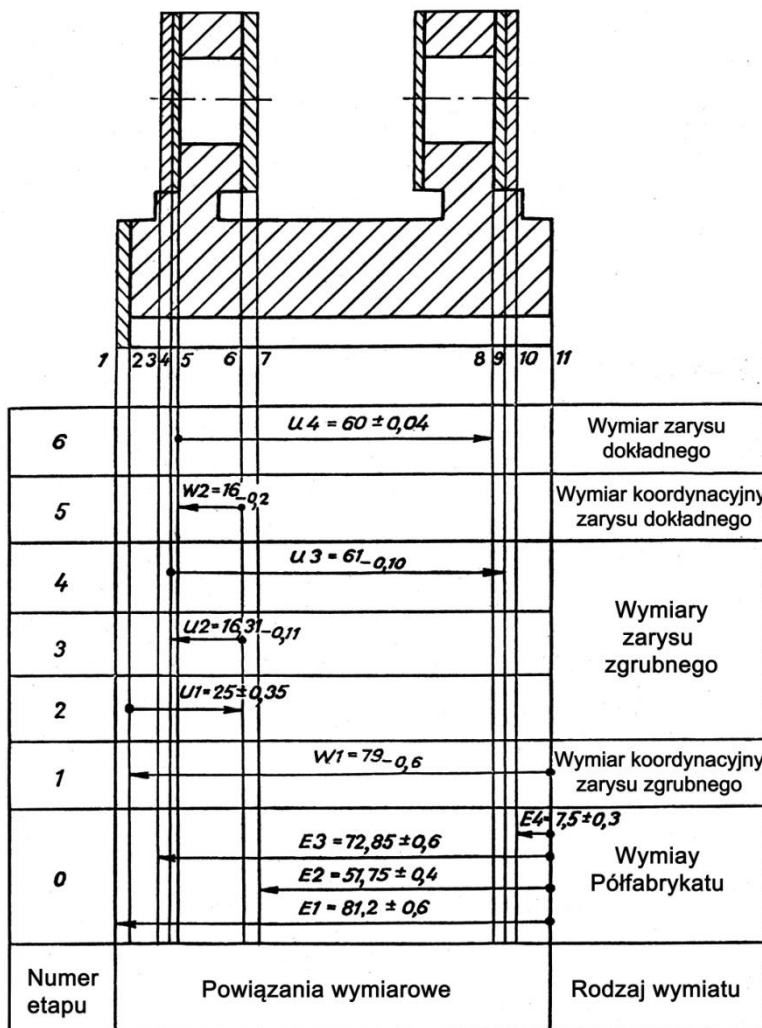
$$\begin{aligned} E2_{\text{nom}} &= E2_{\max} - ESE2 = 52,15 - 0,4 = 51,75 \text{ mm}, \\ E2_{\min} &= E2_{\text{nom}} + EIE2 = 51,35 \text{ mm}, \end{aligned}$$

Ostatecznie:

$$E2 = 41,75 \pm 0,4 \text{ mm}.$$

Łańcuch wymiarowy 9. Równanie główne łańcucha ma postać:

$$\begin{aligned} Z4_F &= E3 + U1 - U2 - W1 = E3 + 25,0, 35 - 16,2^{+0,11} - 79_{-0,6}, \\ Z4_{F,\min} &= E3_{\min} + U1_{\min} - U2_{\max} - W1_{\max}, \\ 1,0 &= E3_{\min} + 24,65 - 16,31 - 79,0, \\ E3_{\min} &= 72,26 \text{ mm}. \end{aligned}$$



Rys. 3.36. Schemat analizy wymiarowej podpory powrotnej:
1–11 – powierzchnie części

Łańcuch wymiarowy 10. Równanie główne łańcucha ma postać:

$$Z_{7_F} = U_2 - U_3 - U_1 + W_1 - E_4 = 16,2^{+0,11} - 61_{-0,190} - 25 \pm 0,35 + 79_{-0,6} - E_4,$$

$$Z_{7_{F,\min}} = U_{2_{\min}} - U_{3_{\max}} - U_{1_{\max}} + W_{1_{\min}} - E_{4_{\min}},$$

$$1,0 = 16,2 - 61,0 - 25,35 + 78,40 - E_{4_{\min}},$$

$$E_{4_{\min}} = 7,25 \text{ mm.}$$

Tolerancja wymiaru półfabrykatu jest równa $\pm 0,3$ mm, stąd:

$$E4_{nom} = 7,25 + 0,3 = 7,55 \text{ mm},$$
$$E4_{max} = E4_{nom} + 0,3 = 7,85 \text{ mm lub } E4 = 7,5 \pm 0,3 \text{ mm}$$

Za pomocą analizy wymiarowej procesu technologicznego obróbki, części są określone, wymiary technologiczne międzyoperacyjne $W1$, $U2$, $U3$, niezbędne do konfigurowania obrabiarek na odpowiednich stanowiskach roboczych i wymiary półfabrykatu $E1$ - $E4$, które należy sprawdzać przed przekazaniem półfabrykatu na obróbkę mechaniczną, żeby przekonać się czy obrobione kontury części są poprawnie rozmieszczone w objętości półwyrobu.

Analiza wymiarowa procesów technologicznych, realizowanych na obrabiarkach CNC w warunkach produkcji elastycznej, charakteryzuje się szeregiem właściwości, związanych z wysoką koncentracją obróbki na każdej obrabiarence i możliwościami układu technologicznego CNC umożliwiającego uzyskanie dokładności wzajemnego rozmieszczenia powierzchni części. Można do nich zaliczyć:

- Dokładność wymiarów wiążących obrobione powierzchnie, bez zmiany zamocowania części, jest określana przez charakterystyki obrabiarki i układu CNC.
- Wielkość przemieszczenia roboczego organu obrabiarki, wskazana w programie sterującym, odpowiada nie nominalnej wartości odpowiedniego wymiaru, a wymiarowi odpowiadającemu środkowi jego pola tolerancji. Wynika to z przypadkowego charakteru czynników, wpływających na dokładność obróbki (temperatury i odkształceń siłowych sułkadu, zużycia narzędzi itp.), co może powodować zarówno zwiększenie, tjak i zmniejszenie otrzymanego wymiaru.

W przypadku, gdy schemat zdejmowania naddatku z powierzchni części pokrywa się z wymiarami konstrukcyjnymi, to dokładność obróbki jest zwiększana, w wyniku wyboru, jako bazy do odliczenia przemieszczeń organów roboczych, powierzchni, która jest stykową bazą technologiczną części lub powierzchnią obrabianą w tej operacji. W tym przypadku niedokładność poprzednich operacji nie ma wpływu na rozkład powierzchni części, otrzymanych w tej operacji na obrabiarence CNC.

Jeśli schemat skrawania naddatku na powierzchni części jest niezgodny z wymiarami konstrukcyjnymi, to należy przeprowadzić analizę wymiarową technologicznego procesu i zbudować łańcuchy wymiarowe o średnich wartościach wymiarów.

3.3.7. Wybór narzędzi skrawających

Praca narzędzi skrawających w warunkach produkcji elastycznej jest określana właściwościami eksploatacji obrabiarek CNC.

Narzędzia skrawające muszą być odporne na zużycie i powinna być możliwość szybkiej ich wymiany. Wynika to z tego, że czas skrawania na obrabiarkach CNC wynosi 50–70% ich ogólnego czasu pracy, przy tym na obrabiarkach konwencjonalnych tylko 15–20%. Intensywna praca narzędzi na obrabiarence CNC zwiększa ich zużycie. W celu podwyższenia trwałości narzędzi po ostrzeniu są one dogładzane. Zapewnienie szybkiej wymiany narzędzi wymaga ich unifikacji, co ułatwia nastawienie i konfigurowanie poza obrabiarką.

W celu zapewnienia elastyczności systemów obrabiarkowych, są stosowane uniwersalne narzędzia skrawające. Narzędzia specjalne i kształtowe są zastępowane możliwie prostymi uniwersalnymi, które przy obróbce powierzchni specjalnych przemieszczają się według złożonej trajektorii.

Frezowanie na obrabiarkach CNC jest wykonywane frezami czołowymi lub trzpieniowymi, najczęściej wykonanymi z węglików spiekanych. Wymiary średnicy frezów są niewielkie, żeby frez nie zakrywał sąsiedniego gniazda w magazynie narzędziowym.

Obróbka otworów jest wykonywana bez stosowania tulei prowadzących oraz innych urządzeń do prowadzenia narzędzi. W celu zmniejszenia niedokładności obróbki oraz chropowatości, wiertło powinno mieć minimalnie możliwą długość.

W obróbce tokarskiej stosuje się uniwersalne noże tokarskie, z reguły z mechanicznym zamocowaniem elementów skrawających: do toczenia, roztaczania, toczenia kształtowego, które umożliwiają obróbkę różnych powierzchni. Oprócz noży uniwersalnych, stosuje się też specjalne: do gwintów, rowków i tym podobne.

W warunkach produkcji elastycznej często są stosowane grupowe nastawienia technologiczne. W tym przypadku ten sam komplet powierzchni może być obrobiony za pomocą różnych narzędzi. Do takiej obróbki bardziej nadają się narzędzia uniwersalne, ponieważ można nimi obrobić większą liczbę różnych powierzchni. Projektowanie nastawienia grupowego obejmuje:

1. Wybór części z grupy i wyznaczenie kompletu narzędzi, koniecznego do jej obróbki $N1$.
2. Określenie następnej części grupy i komplet narzędzi do jej obróbki $N2$.
3. Porównanie kompletów narzędzi $N1$ i $N2$ i wyznaczenie zbioru będącego ich różnicą:

$$\Delta N = N2 / N1,$$

który zawiera narzędzia kompletu $N2$ niewchodzące do zestawu $N1$.

Narzędzia nie wchodzi do zbioru $\Delta N2$ w przypadkach, gdy:

- oba komplety zawierają identyczne narzędzia,
 - jedno z narzędzi jest bardziej uniwersalne (na przykład: z dwóch noży do wytaczania bardziej uniwersalny jest nóż o dłuższym wylocie; z dwóch wiertel – wiertło o mniejszej średnicy itp.).
4. Procedura analizy jest powtarzana według p. 2 i 3 w przypadku każdej następnjej części grupy; są wyznaczane zbiory $\Delta N3, \Delta N4, \dots$.
 5. Określane są nastawienia grupowe jako:

$$N_{\Sigma} = N1 \cup \Delta N2 \cup \Delta N3 \cup \dots$$

W przypadku magazynów narzędziowych lub głowicy rewolwerowej A możliwe są sytuacje:

- $N = A$, grupowe nastawienie jest sformowane,
- $N < A$, zaleca się dodanie narzędzi dublujących,
- $N > A$, część narzędzi jest wymienna, albo operacja grupowa jest dzielona na prostsze lub zmniejszana jest liczba części w grupie.

3.3.8. Normowanie operacji

W ogólnym przypadku czas jednostkowy obróbki części wynosi:

$$t_j = t_g + t_p + t_o + t_f, \quad (3.27)$$

gdzie: t_g – główny czas wykonania operacji, min,

t_p – pomocniczy czas, min,

t_o – czas obsługi stanowiska, min,

t_f – czas na osobiste potrzeby operatora.

Czas główny obróbki części jest równy:

$$t_g = \sum_j t_{gj} \quad (3.28)$$

gdzie: t_{gj} – czas główny wykonania j -go zabiegu.

$$t_{gj} = \frac{L+l}{nf} i = \frac{L+l}{f_m} i, \quad (3.29)$$

gdzie: L – długość powierzchni obrabianej, mm; l – długość dobiegu i wybiegu narzędzia, mm; i – liczba przejść; f – posuw, mm/obr; f_m – posuw minutowy, mm/min; n – prędkość obrotowa wrzeciona obr/min.

Czas pomocniczy jest określany jako:

$$t_p = t_{mz} + t_r, \quad (3.30)$$

gdzie: t_{mz} – czas mocowania i zdejmowania części z obrabiarki, min;
 t_r – czas maszynowy pomocniczy, związany z wykonaniem pomocniczych ruchów przy obróbce (doprowadzenie narzędzi do części, pozycjonowanie roboczych organów, automatyczna zamiana narzędzi i tym podobne).

Czas pracy obrabiarki według programu sterującego jest, więc równy:

$$t_{sp} = t_0 + t_r. \quad (3.31)$$

Czas wykonania:

$$t_w = t_g + t_p = t_{sp} + t_{mz}. \quad (3.32)$$

Elementy czasu jednostkowego są określane według normatywów, przedstawionych w odpowiednich poradnikach. Czas na obsługę techniczną obrabiarek automatycznych, jest określany według tych normatywów i zawiera czas na zamianę zużytych narzędzi, regulację obrabiarki, okresową korekcję położenia narzędzi itd.

Przy obróbce części w warunkach produkcji wieloasortymentowej proces charakteryzuje czas wykonania jednej części t , w skład którego wchodzi czas jednostkowy obróbki części i czas przygotowawczo-zakończeniowy, przypadający na jedną część:

$$t = t_j + \frac{t_{pz}}{n}, \quad (3.33)$$

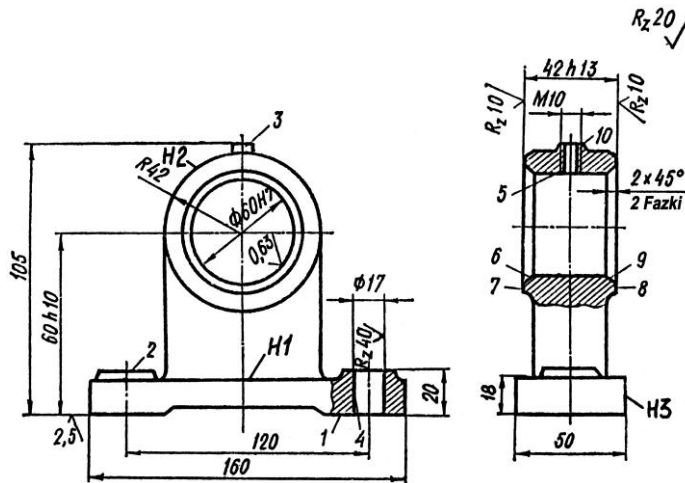
gdzie: t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy,
 n – liczba części w partii produkcyjnej.

Czas przygotowawczo-zakończeniowy przy obróbce części na obrabiarkach CNC składa się z czasu na zapoznanie się z dokumentacją techniczną, przygotowanie urządzenia i narzędzi do pracy, wprowadzenie sterującego programu CNC, na korektę położenia narzędzi i obróbkę próbnej części. Normatywy czasu t_{pz} znajdują się w poradnikach.

3.3.9. Przykład projektowania funkcjonalnego ESP obróbki mechanicznej

Przedstawiony zostanie przykład optymalizacji procesu obróbki mechanicznej obudowy łożyska [3.16]. Przedstawiono optymalny wariant struktury procesu wytwarzania obudowy łożyska (rys. 3.37). Półfabrykat – odlew z żeliwa szarego ZL-250, roczny program produkcyjny – 80 tys. szt. Optymalizacja technologicznego procesu obróbki obejmuje:

1. Wyznaczenie ograniczeń odnośnie kolejności obróbki powierzchni części przy uwzględnieniu konstrukcji części, technologii obróbki i warunków pracy części w mechanizmie.
2. Wygenerowanie wariantów realizacji każdej technologicznej operacji obróbki.
3. Wybór kryterium oceny wariantów oraz optymalnego wariantu układu procesu.



Rys. 3.37. Obudowa łożyska

Określenie ograniczeń. W tym przypadku wykorzystuje się odpowiedniość między poszczególnymi powierzchniami i elementami konstrukcyjnymi części, a elementarnym zabiegiem technologicznym jej obróbki.

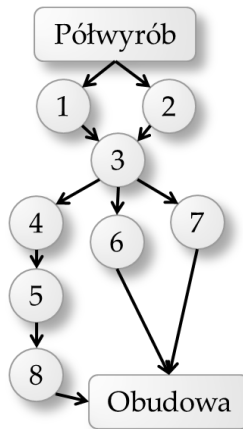
Zastosowana zostanie już zaprezentowana metodyka, określania ograniczeń odnośnie kolejności powstawania powierzchni obudowy łożyska (rys. 3.37). Ponieważ powierzchnia 5 – otwór $\text{Ø}60\text{H}8$ jest obrabiana dwukrotnie: zgrubnie i wykańczająco, to uwzględnia się występowanie dwóch powierzchni otworu: powierzchni 5-z (po obróbce zgrubnej otworu) i powierzchnię 5-w (po obróbce wykańczającej). Powierzchnie półwyrobu, stosowane jak bazy do pierwszej operacji, oznaczymy $N1$, $N2$, $N3$ (powierzchnie nieobrobione).

Tab. 3.17. Macierz zabiegów technologicznych

	N1	N2	N3	1	2	3	4	5	5F	6	7	8	9	10	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
N1	■														0	■	■	■	■	■	■	■
N2		■													0	■	■	■	■	■	■	■
N3			■												0	■	■	■	■	■	■	■
1	1			■											1	0	■	■	■	■	■	■
2				1	■										1	1	0	■	■	■	■	■
3				1		■									1	1	0	■	■	■	■	■
4		1	1	1			■								3	1	0	■	■	■	■	■
5				1			1	■							2	2	1	0	■	■	■	■
5F				1			1	1	■						3	3	2	1	0	■	■	■
6									1	■	1				2	2	2	1	1	1	0	■
7				1			1				■				2	2	1	0	■	■	■	■
8				1			1					■			2	2	1	0	■	■	■	■
9									1				1	■	2	2	2	1	1	0	0	■
10				1			1							■	2	2	1	0	■	■	■	■

Przy tworzeniu z tych zabiegów technologicznych operacji należy przestrzegać dwóch zasad [3.25]:

1. Dowolny zabieg technologiczny może być, przy opracowywaniu operacji, przenoszony na późniejsze etapy obróbki, lecz nie na wcześniejsze;
2. Można łączyć sąsiednie etapy w jeden. W wyniku powstaje struktura procesu roboczego i na jej podstawie schemat technologiczny, kończący funkcjonalny etap projektowania (rys. 3.38).



Rys. 3.38. Proces obróbki obudowy łożyska: 1 – przeciągnięcie pionowe, 2 – frezowanie pionowe, 3 – wiercenie, 4 – frezowanie poziome, 5 – wiercenie, 6 – toczenie, 7 – roztaczanie, 8 – przeciągnięcie.

Generowanie wariantów realizacji każdego etapu obróbki. Ze względu na określoną na etapie poprzednim kolejność zabiegów (rys. 3.38), zastosowano do generowania opcji technologicznych operacji model sieciowy.

W pierwszym etapie jest wykonywana obróbka podstawy obudowy 1, która może być wykonywana przeciąganiem lub frezowaniem na różnych typach obrabiarek (pionowych, poziomych albo karuzelowych).

W etapie drugim są wiercone otwory 4. Mogą być również obrabiane płaszczyzny 2 i 3: frezowaniem, przeciąganiem, a także pogłębianiem – ponieważ są powiązane z otworami 4 i 10. W etapie trzecim obrabiany jest, na tokarce, roztaczarce lub przeciągarce – otwór $\varnothing 60H8$. Powierzchnie boczne 7 i 8 mogą być obrobione toczeniem, a także na frezarce poziomej zestawem frezów. Warianty realizacji tych zabiegów pozwalają sformować model sieciowy procesu technologicznego (rys. 3.39).

Wybór optymalnej opcji procesu metodą programowania dynamicznego wg kryterium kosztu własnego obróbki mechanicznej, czyli $C_T = \min$. Normy czasu są wyznaczane zgrubnie. Na przykład, czas obróbki podstawy na frezarce pionowej jest określany jako:

$$t_g = 0,006 \cdot l = 0,006 \cdot 160 = 0,96 \text{ min},$$

$$t_j = 1,5 \text{ min}.$$

Koszt obróbki określa się za pomocą normatywnego kosztu własnego, podanego w odpowiednich poradnikach w przypadku każdego modelu obrabiarki. Do wyznaczenia kosztu własnego obróbki obudowy, na przykład, frezowaniem, wybrano obrabiarkę 6P10, której normatywny koszt własny pracy wynosi $C_N = 4$, 2 zł za 1 godzinę, a więc koszt własnego frezowania podstawy jest równy:

$$C_T = \frac{1}{50} C_N \cdot t_j = 0,126 \text{ gr}.$$

Wartości kosztu własnego w przypadku operacji pozostałych są przedstawione w tab. 3.14. Dane przedstawione w tab. 3.14 umożliwiły opracowanie sieciowego modelu struktury procesu technologicznego obróbki obudowy łożyska (rys. 3.39). Oznaczanie wierzchołków grafu zaczyna się od operacji ostatniej w następujący sposób: na każdym wierzchołku odznacza się minimalną wartość technologicznego kosztu własnego, odpowiadającą minimalnej drodze do niego z końca procesu technologicznego. Wartości innych dróg, które mają wyższy sumaryczny technologiczny koszt własny są pomijane.

Tab. 3.18. Wartości czasu jednostkowego i kosztu własnego operacji obróbki obudowy

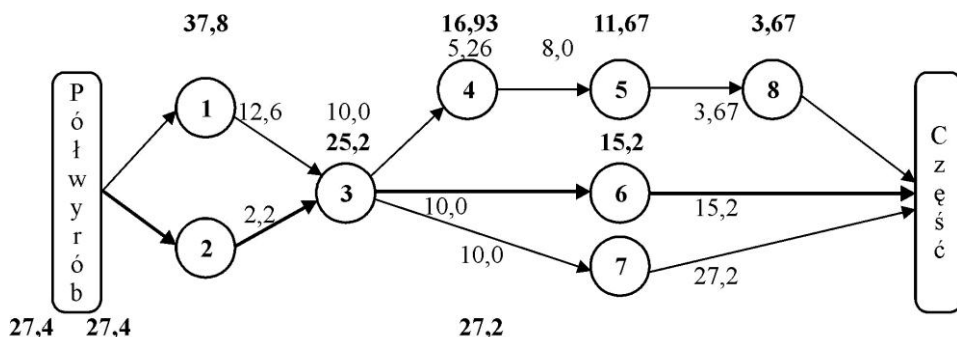
Operacja	1	2	3	4	5	6	7	8
Czas jednost., min	1,8	0,4	1,25	0,75	1,0	1,7	2,6	0,4
Model obrabiarki	6R10	7D450	2N118	6R82G	2N118	1K62	2A620	7505
Koszt obr., zł/godz	4,20	3,27	4,78	4,19	4,78	5,34	6,27	5,43
Koszt obróbki, gr	0,126	0,022	0,100	0,057	0,080	0,152	0,272	0,034

Po przeprowadzeniu przeszukania odwrotnego modelu minimalna droga jest zapamiętywana i zaznaczana (wyodrębniona na rys. 3.39). Otrzymana kolejność operacji 2–3–7 jest optymalna (koszt własny obróbki 0,274 zł.).

Przedstawiony przykład pokazuje metodykę stosowania programowania dynamicznego do optymalizacji układu skomplikowanych obiektów.

Tab. 3.19. Optymalny proces technologiczny obróbki obudowy łożyska

Nr op.	Nazwa operacji, treść zabiegów	Model obrabiarki
05	Przeciąganie pionowe. 1. Przeciągnąć podstawę.	Przeciągarka, 7D450
10	Wiercenie. 1. Wiercić 2 otwory $\varnothing 17$. 2. Roztoczyć 2 otwory $\varnothing 17$. 3. Pogłębić 2 otwory $\varnothing 17$. 4. Wiercić otwór pod gwint M10. 5. Pogłębić otwór z wykonaniem ścięcia pod gwint M10. 6. Wykonać gwint M10.	Wiertarka pionowa, 2H118
15	Toczenie. 1. Obrobić powierzchnię 7. 2. Roztoczyć otwór $\varnothing 60H9$ zgrubnie. 3. Roztoczyć otwór $\varnothing 60H8$ wykańczająco. 4. Wykonać ścięcie. 5. Obrobić powierzchnię 9 i wykonać ścięcie.	Tokarka-gwinciarka, 1K62



Rys. 3.39. Model sieciowy optymalizacji struktury procesu obróbki mechanicznej

Uogólniając, można powiedzieć, że zasada programowania dynamicznego w optymalizacji strukturalnej można przedstawić następująco:

- wybór kryterium oceny,
- wyznaczenie ograniczeń na możliwe opcje obiektu,
- budowa modelu sieciowego układu i oznaczenie jego wierzchołków oraz krawędzi,
- poszukiwanie marszruty optymalnej przy odwrotnym przeszukaniu modelu sieciowego.

Podsumowując, należy podkreślić, że główna zasada optymalności przy programowaniu dynamicznym jest formułowana w następujący sposób: bez względu na stan systemu, przed kolejnym krokiem optymalizacji, należy określić kierunek w taki sposób, aby efekt sumaryczny w tym kroku oraz na wszystkich kolejnych był optymalny.

3.4. Projektowanie grupowego procesu technologicznego sprzętu mikroelektronicznego

Wdrożenie elastycznych systemów produkcyjnych do produkcji sprzętu mikroelektronicznego w oparciu o wykorzystanie zasad technologii grupowej, zastosowanie wyposażenia technologicznego, w którym można zmieniać oprogramowanie oraz sterowanie programowe, umożliwia w określonym stopniu usunięcie sprzeczności, między indywidualnym charakterem wyrobów, a więc maksymalną zmiennością produkcji a koniecznością masowego stosowania operacji tego samego typu w celu zapewnienia minimalnych kosztów ekonomicznych produkcji.

Przy produkcji sprzętu mikroelektronicznego cechy grupowania są określane w następującej kolejności [3.6]:

1. Wstępna analiza stałości cech produkcji;
2. Wstępne określenie cech do dalszego badania;
3. Badanie wybranych cech na konkretnych elementach konstrukcyjnych sprzętu mikroelektronicznego, znajdujących się w produkcji od dłuższego czasu;
4. Sprawdzenie stałości dobranych cech pod względem ich powtarzalności na stanowiskach pracy w poprzednich okresach planowych;
5. Wstępne tworzenie grup;
6. Sprawdzenie stałości cech po obciążeniu wyposażenia po stworzone grupy;
7. Korekcja składu grupy i cech tworzących grupę;
8. Ostateczny wybór cech grupowania.

Liczba analizowanych cech na pierwszym etapie może być dość duża (więcej niż dziesięć). Im większa jest ich liczba, tym większe jest prawdopodobieństwo nieuzasadnionego wykluczenia tych cech grupowania, które przy pobieżnym ich przeglądzie wydają się mało ważne.

Grupy elementów konstrukcji sprzętu mikroelektronicznego zależnie od wyrobów, w których są stosowane dzieli się na grupy o podobnych cechach technologicznych i organizacyjnych. Grupy o podobnych cechach technologicznych charakteryzują się identycznością lub podobieństwem przejść technologicznych przy obróbce (montażu) wszystkich elementów sprzętu mikroelektronicznego, należących do tej samej grupy. Grupy o podobnych cechach organizacyjnych umożliwiają pełne obciążenie stanowiska pracy obróbką części lub jednostek montażowych jednej grupy, posiadających podobne cechy technologiczne.

Grupy części można oceniać wg następujących kryteriów: minimalizacja łącznego czasu obróbki (montażu) wszystkich części, minimalizacja łącznego przestoju maszyn w określonym czasie, minimalizacja czasu obróbki (montażu) części, maksymalizacja wydajności wyposażenia, maksymalizacja obciążenia wyposażenia itd. Zależnie od konkretnej sytuacji produkcyjnej tworzy się określona hierarchia kryteriów, która podnosi zdolność systemu grupowania do adaptacji.

Podsystem zautomatyzowanego grupowania pracuje iteracyjnie, co umożliwia w przypadku każdej z grup części (jednostek montażowych) dobierane najbardziej wydajnego wyposażenia, które właśnie określa odpowiednią wielkość grupy. Czynnikiem ograniczającym wielkość grupy części jest fundusz czasu wybranego wyposażenia.

W toku grupowania należy korzystać z „mechanizmu” analizy systemowej, która wymaga, aby przy kwalifikacji korzystać z jedynej bazy cech klasyfikacyjnych. Najbardziej rozpowszechnionym błędem w toku klasyfikacji jest zmiana bazy, w tym przypadku do klasyfikatora trafiają cechy klasyfikacyjne

różnego typu. Nie zawsze jest to łatwe, zwłaszcza wtedy, gdy baza ulega zmianie przy zachowaniu ogólnej struktury. Na przykład rezystor to produkt pracy przy tworzeniu wyrobów techniki elektronicznej i przedmiot pracy (surowiec) przy produkcji urządzeń. Jednak w obu przypadkach jest on substancją materialną, a pojęcie „montaż aparatury radiowej” może oznaczać zarówno zjawisko, konstrukcję, jej składnik, jak również proces łączenia części sprzętu mikroelektronicznego. Trzeba więc zwracać szczególną uwagę na przebieg klasyfikacji takich elementów zarówno przy opracowywaniu, jak i korzystaniu z klasyfikatora.

3.4.1. Montaż sprzętu mikroelektronicznego. Organizacja prac montażowych.

Podstawę prac montażowych stanowią procesy tworzenia połączeń elektrycznych i mechanicznych.

Składanie – to całokształt operacji technologicznych mechanicznego łączenia części oraz elementów radiowych i elektronicznych (ERE) w wyrobie lub jego części, które są wykonywane w określonej kolejności w celu zapewnienia określonej lokalizacji oraz interakcji, zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną. Wybór kolejności operacji procesu montażu zależy od konstrukcji wyrobu oraz organizacji procesu montażu.

Montażem nazywa się proces technologiczny elektrycznego połączenia ERE wyrobu zgodnie z zasadniczym schematem elektrycznym czy montażowym. Montaż odbywa się za pomocą płytek drukowanych, pojedynczych przewodów, wiązek i kabli.

Zgodnie z kolejnością operacji technologicznych proces montażu dzieli się na montaż poszczególnych jednostek montażowych (płytek, bloków, paneli, ram, stojaków) oraz montaż ogólny wyrobu. Organizacyjnie może on być stacjonarny lub ruchomy, z koncentracją lub dyferencjacją operacji. Stacjonarny montaż to montaż, w trakcie którego obiekt montażu pozostaje nieruchomy, a do niego są przemieszczane potrzebne elementy montażowe. Ruchomy montaż wyróżnia się tym, że obiekt montażu przemieszcza się po przenośniku wzdłuż stanowisk pracy. Przemieszczenia obiektu montażu są dostosowane do czasu realizacji określonej operacji lub wymuszone taktem procesu.

Montaż wg zasady koncentracji operacji polega na tym, że na jednym stanowisku pracy zostaje wykonany cały kompleks prac w zakresie produkcji wyrobu lub jego części. W takich warunkach wzrasta dokładność montażu, łatwiejszy staje się proces jego normowania. Dłuższy cykl montażowy, pracochłonność mechanizacji złożonych operacji montażowych powoduje, że taka forma montażu jest stosowana w warunkach produkcji jednostkowej lub małoseryjnej.

Montaż zróżnicowany zakłada podział prac montażowych na wiele prostych operacji. Umożliwia to mechanizację i automatyzację prac oraz wykorzystanie robotników o niskich kwalifikacjach. Montaż wg zasady różnicowania operacji

jest skuteczny w warunkach produkcji seryjnej i masowej. Nadmierny podział operacji prowadzi jednak do wydłużenia czasu transportu, zwiększenia powierzchni produkcyjnych, a także większego zmęczenia pracowników przy wykonywaniu monottonnych czynności. W każdym konkretnym przypadku powinna być określona celowość techniczno-ekonomiczna przyjętego rozwiązania.

Procesy montażowe powinny być wydajne, dokładne i niezawodne. Na wydajność istotnie wpływa nie tylko poziom detalizacji procesu, specjalizacji stanowisk pracy, mechanizacji i automatyzacji, ale także zasady organizacyjne takie jak: równoległość, najprostsza droga, ciągłość, proporcjonalność i rytmiczność.

Równoległość montażu jest to jednoczesne wykonywanie montażu kilku elementów wyrobu lub wyrobów w całości, umożliwia zmniejszenie długości cyklu produkcyjnego. Największe możliwości, ze względów technologicznych, mają dwa sposoby zapewnienia równoległości procesów:

1. Produkcja i montaż, kilku wyrobów jednocześnie, na wieloprzedmiotowych liniach produkcji potokowej;
2. Łączenie, na zautomatyzowanych liniach produkcji potokowej, produkcji części oraz ich montażu.

Najprostszy przebieg procesu – to najkrótsza droga przejścia wyrobu przez wszystkie fazy i operacje od wprowadzenia materiałów i części wyjściowych do otrzymania gotowego wyrobu. Każde odchylenie od najprostszej drogi komplikuje proces montażu oraz wydłuża cykl produkcyjny sprzętu mikroelektronicznego. Zasadę najprostszej drogi należy przestrzegać we wszystkich wydziałach przedsiębiorstwa i łączyć ją z zasadą ciągłości.

Ciągłość technologicznego procesu montażu przewiduje skrócenie lub pełne usunięcie przerw między- oraz wewnątrzoperacyjnych. Ciągłość jest osiągnięta przez racjonalny wybór procesu technologicznego, połączenie operacji produkcji części wraz z ich montażem, włączenie do potoku operacji kontroli i regulowania.

Zasada proporcjonalności jest określana jako proporcjonalna wydajność na jednostkę czasu w każdym miejscu pracy, linii, odcinku, wydziale. Umożliwia to pełne wykorzystanie wyposażenia, powierzchni produkcyjnych oraz równomierną produkcję wyrobów. Proporcjonalność jest podwyższana przez racjonalny podział konstrukcji na jednostki montażowe oraz unifikację jej składników.

Zasada rytmiczności przewiduje produkcję w takim samym czasie jednakowej lub rosnącej ilości produkcji. Rytmiczność w toku montażu zwiększa się dzięki zastosowaniu procesów typowych i grupowych, ich unifikacji oraz uprzedniej synchronizacji operacji.

Projektowanie grupowych procesów technologicznych montażu sprzętu mikroelektronicznego rozpoczyna się od zbadania na wszystkich poziomach produkcyjnych danych wejściowych, do których należą: krótki opis funkcjonalnego przeznaczenia wyrobu, warunki i wymagania techniczne, zestaw

dokumentacji konstruktorskiej, program i planowe terminy produkcji, zalecenia techniczne, normatywne oraz informacyjne. Do takich danych zalicza się również warunki, w jakich ma być realizowana produkcja wyrobów: nowe lub już działające przedsiębiorstwo, wyposażenie oraz możliwość zakupu nowego wyposażenia, możliwości kooperacji z innymi przedsiębiorstwami, zaopatrzenie w materiały i części. W wyniku analizy zostaje opracowany plan przygotowania technologicznego i uruchomienia produkcji wyrobu.

Do grupowego procesu technologicznego montażu można zaliczyć następujące powiązane ze sobą prace:

1. Wybór procesu technologicznego i (w razie konieczności) jego dopracowanie.
2. Opracowanie marszruty grupowego procesu technologicznego montażu ogólnego oraz określenie wymagań technologicznych odnośnie wejściowych jednostek montażowych.
3. Opracowanie marszrut grupowego procesu technologicznego montażu bloków (jednostek montażowych) oraz określenie wymagań technologicznych do ich składników, jednostek montażowych i części.
4. Określenie niezbędnego wyposażenia technologicznego, osprzętu, środków mechanizacji i automatyzacji.
5. Podział tras grupowego procesu technologicznego na elementy.
6. Obliczenia technologiczne, a także techniczne normowanie prac i określenie kwalifikacji robotników.
7. Opracowanie procesu technologicznego i wybór środków kontroli, nastawienia i regulowania.
8. Opracowanie zadania technicznego na projektowanie i produkcję specjalnego wyposażenia technologicznego.
9. Obliczenie i projektowanie linii produkcji potokowej, odcinku montażu seryjnego lub elastycznego systemu produkcyjnego, opracowanie planowania i operacji przemieszczania wyrobów i odpadów produkcji.
10. Wybór i przeznaczenie wewnątrzwydziałowych środków przenoszenia i transportu, organizacja stanowiska kompletowania.
11. Sporządzenie dokumentacji technologicznej oraz proces jej zatwierdzenia.
12. Produkcja partii doświadczalnej.
13. Korekcja dokumentacji na podstawie wyników badań partii doświadczalnej.

Opracowanie trasy technologicznej montażu sprzętu mikroelektronicznego rozpoczyna się od podziału wyrobu na jednostki montażowe oraz opracowania schematów montażu. Elementami produkcji montażowej są części i jednostki montażowe o różnym stopniu złożoności. Opracowanie schematów umożliwia określenie kolejności montażu, wzajemnych powiązań między elementami oraz opracowanie projektu procesu technologicznego. W pierwszej kolejności jest

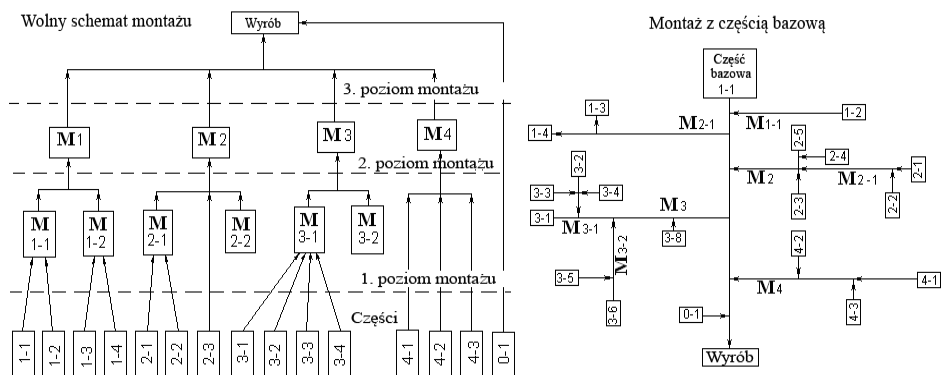
opracowywany schemat jednostek montażowych całego wyrobu, a następnie rozwinięte schematy poszczególnych jednostek montażowych. Podział wyrobu na elementy jest dokonywany niezależnie od programu jego produkcji i charakteru procesu montażu technologicznego. Schemat montażu jednostek jest podstawą do opracowania schematu technologicznego montażu, na którym jest przedstawiana struktura operacji montażu, określana ich optymalna kolejność oraz są wprowadzane uwagi odnośnie specyfiki wykonania operacji.

W praktyce są stosowane dwa typy schematów montażu: „wachlarzowy” i z częścią bazową (rys. 3.40). Składniki na schematach montażu są określone przy pomocy prostokątów, w których zapisuje się: nazwę, numer zgodnie z klasyfikatorem, oznaczenie pozycji i ich liczbę. Bardziej pracochłonny, ale odzwierciedlający kolejność procesu montażu jest schemat z częścią bazową. Jako baza jest przyjmowana podstawa, panel, płytki lub inna część, od której rozpoczyna się montaż.

Wykaz operacji montażu jest określany w oparciu o optymalne zróżnicowanie produkcji montażowej. W warunkach produkcji niepotokowej uzasadnionymi technologicznie granicami dyferencjacji są:

- jednorodność wykonywanych prac,
- uzyskanie w wyniku wykonania operacji układu powierzchni części lub jednostki montażowej,
- niezależność montażu, przechowywania i transportowania od innych jednostek montażowych,
- możliwość zastosowania prostego (uniwersalnego) lub przezbrajanego wyposażenia technologicznego,
- zapewnienie minimalnego czasu pomocniczego przy realizacji operacji;
- zastosowanie w produkcji operacji grupowych.

W produkcji potokowej niezbędny poziom zróżnicowania operacji w zasadzie jest określany przez takt montażu.



Rys. 3.40. Schematy montażu wyrobów: „wachlarzowy” oraz z częścią bazową

Optymalna kolejność operacji technologicznych zależy od ich zawartości, zastosowanego wyposażenia, efektywności ekonomicznej. Przede wszystkim są realizowane połączenia nieruchome, wymagające znacznego wysiłku mechanicznego. Na etapach końcowych są montowane części ruchome wyrobów, połączenia rozłączne oraz części, które można wymienić w trakcie nastawiania.

Opracowany schemat montażu umożliwia przeanalizowanie grupowego procesu technologicznego z uwzględnieniem wskaźników techniczno-ekonomicznych oraz wybranie optymalnego procesu pod względem technicznym i organizacyjnym.

Grupowe procesy montażu. Konieczność opanowania nowych wyrobów w krótkim czasie, wysokie wymagania odnośnie jakości oraz wskaźników techniczno-ekonomicznych pracy przedsiębiorstw wymagają ciągłego doskonalenia przygotowania technologicznego produkcji montażowej. Podstawowym kierunkiem takiego doskonalenia jest unifikacja procesu technologicznego wraz z unifikacją jednostek montażowych konstrukcji. Jednym z rodzajów unifikacji są grupowe metody montażu.

Grupowe metody montażu odnoszą się do zakładów o zbliżonych warunkach przeprowadzania montażu i mających podobne środki mechanizacji oraz automatyzacji. Przy klasyfikacji jednostek montażowych w grupy są uwzględniane wymiary gabarytowe części bazowej oraz innych montowanych elementów, rodzaje połączeń, wymagana dokładność, technologia wykonania tych połączeń, charakterystyka urządzeń, a także wyposażenie i przyrządy kontrolne. W wyniku klasyfikacji jednostki montażowe są dzielone na następujące grupy:

- montaż jest realizowany na jednym urządzeniu,
- część montażu jest wykonywana na urządzeniu w jednej operacji grupowej, natomiast kolejne operacje ERE i części tworzą inną grupę lub też montaż jest realizowany w warunkach pojedynczego procesu,
- wyodrębniona zostaje jedna ogólna grupowa trasa technologiczna, składająca się z zestawu grupowych operacji technologicznych, z których każda jest realizowana przy wykorzystaniu ustawień grupowych, umożliwiając po niewielkim dostosowaniu wykonywanie montażu kolejnej partii wyrobów.

Opracowanie grupowego procesu technologicznego sprowadza się do projektowania grupowego wyposażenia technologicznego, opracowania technologii w przypadku każdego wyrobu, wchodzącego do grupy klasyfikacyjnej i określenia optymalnej kolejności uruchomienia montażu partii. Grupowe metody montażu są najbardziej skuteczne w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Umożliwiają zmniejszenie liczby opracowywanych procesów, skoncentrowanie prac jednolitych technologicznie i zastosowanie grupowych wieloprzedmiotowych linii montażowych produkcji potokowej.

3.4.2. Technologiczne procesy składania i montażu wyrobów sprzętu mikroelektronicznego [3.2]

Analiza technologiczności węzła mikroelektronicznego. Pojęcie „technologiczność” zawiera dużą ilość parametrów wyrobu, procesów technologicznych i produkcji. Analiza technologiczności umożliwia ocenę możliwości wykorzystania do produkcji części i montażu wyrobu znanych metod wykonania operacji i procesów przy dość wysokim stopniu ich mechanizacji oraz automatyzacji.

Ilościowa ocena technologiczności węzłów mikroelektronicznych jest przeprowadzana wg systemu wskaźników bazowych (zob. tab. 3.20).

W oparciu o wskaźniki bazowe zostaje obliczony kompleksowy wskaźnik technologiczności zgodnie z formułą:

$$K_{TECH} = \frac{\sum_{i=1}^7 K_i \cdot \varphi_i}{\varphi_i}, \quad \varphi_i = \frac{i}{2^{i-1}} \quad (3.34)$$

gdzie: φ_i – współczynnik wagowy wartości wskaźnika.

Część danych do obliczeń jest brana z dokumentacji technicznej wyrobu. Liczba połączeń kontaktowych na karcie jest określana w wyniku obliczenia zacisków elementów podwieszanych, mostków objętościowego montażu przewodnikowego, drutów-złączek. Ponieważ wszystkie połączenia kontaktowe na płytkach są otrzymywane w wyniku lutowania, to można ocenić możliwości mechanizacji lutowania z uwzględnieniem konstrukcji połączenia (płaskie zaciski, nóżka stykowa itd.), znanych sposobów lutowania, występowania odpowiedniego wyposażenia oraz seryjnego charakteru produkcji. Możliwość mechanizacji przygotowania zacisków elementów podwieszanych do montażu jest określona występowaniem standartowych kształtów zacisków, typami i wymiarami ich obudowy. Do ich kształtowania są stosowane urządzenia o napędzie ręcznym, tłoczni oraz urządzenia zmechanizowane.

Współczynnik mechanizacji ustawienia i kontroli jest stosunkowo niski, ponieważ przy montażu węzłów elektronicznych występuje wiele pracochłonnych i słabo zmechanizowanych operacji kontroli: sprawdzenie płytek przed montażem, jakości zmywania i lakierowania płytek, przyklejania uszczelek pod obudowy elementów podwieszanych, lutowanie ich zacisków. Parametry funkcjonalne płytek są kontrolowane na specjalnych stanowiskach. Wartość obliczeniowa K_{TECH} jest porównywana z normatywną, która w przypadku produkcji seryjnej węzłów mikroelektronicznych znajduje się w zakresie od 0,5 do 0,8, natomiast serii początkowej – 0,45–0,75, a wzorca doświadczalnego – 0,4–0,7.

Przedsiębiorstwa produkujące sprzęt mikroelektroniczny na układach scalonych są wyposażone w sprzęt stosowany w przemyśle mikroelektronicznym – urządzenia: do dyfuzji, wprowadzania domieszek stopowych wiązką jonów, utleniania w wysokich temperaturach, do termicznego odparowywania materiałów pod zmniejszonym ciśnieniem, a także do montażu i uszczelniania układów scalonych.

Tab. 3.20. Podstawowe wskaźniki technologiczności węzłów mikroelektronicznych

Wskaźnik	Formuła do obliczenia	Φ_i	Uwaga
Współczynnik wykorzystania układów scalonych i mikromontażu	$K_1 = H_{USC}/H$	1,0	H_{UMC} – liczba układów scalonych, H – łączna liczba elementów radiowych
Współczynnik automatyzacji i mechanizacji montażu	$K_2 = H_{AM}/H_M$	1,0	H_M – liczba połączeń kontaktowych, H_{AM} – liczba połączeń kontaktowych wykonywanych automatycznie
Współczynnik mechanizacji przygotowania do montażu	$K_3 = H_{AP}/H$	0,8	H_{AP} – liczba elementów przygotowanych do montażu przez automat
Współczynnik mechanizacji kontroli i ustawienia	$K_4 = H_{MK}/H_K$	0,5	Liczba operacji kontroli: H_K – ogólna, H_{MK} – w sposób zmechanizowany
Współczynnik powtarzalności elementów radiowych	$K_5 = 1 - H_T/H$	0,3	H_T – liczba typowymiarów elementów
Współczynnik stosowalności elementów radiowych	$K_6 = 1 - H_{OR}/H$	0,2	H_{OR} – liczba oryginalnych typowymiarów elementów
Współczynnik progresywności tworzenia kształtów części	$K_7 = C_{PR}/C$	0,1	Liczba części: C – ogólna, C_{PR} – montowanych metodami progresywnymi

Wybór procesu technologicznego montażu węzła mikroelektronicznego. Typowe operacje PT montażu elementów konstrukcyjnych pierwszego poziomu (moduły, elementy techniczne wymienne (TEW), węzły) są przedstawione w tabeli 3.21.

Etap kompletowania elementów i części nawieszanych, wchodzących w moduł pierwszego poziomu jest pracochłonny i wykonywany głównie ręcznie. Wynika to z różnorodności opakowań, w których są dostarczane ERE i układy scalone. Mikroukłady w indywidualnym opakowaniu są rozpakowywane za pomocą automatów według określonego klucza i wkładane do kaset technologicznych.

Tab. 3.21. Podstawowe operacje procesów montażu

Podstawowe etapy montażu	Obiekty montażu	Podstawowe, typowe operacje
Kompletowanie	Płytki drukowane, składniki, części	Rozpakowanie z opakowania dostawcy. Wejściowa kontrola parametrów. Umieszczenie w pojemnikach technologicznych.
Przygotowanie do montażu	Płytki drukowane	Przepłukiwanie płytki. Kontrola montażu drukowanego. Kontrola przydatności płytki do lutowania. Oznakowanie płytki.
	Elementy zawieszane (ERE, układy scalone)	Lakierowanie oznaczeń wartości nominalnych. Prostowanie i obcinanie zacisków. Powlekanie pastą lutowniczą i cynowanie. Formowanie zacisków. Przepłukiwanie i suszenie ERE oraz układów scalonych. Kompletacja. Kasetowanie.
Montaż na płytkę drukowaną	Części	Montaż i zamocowanie łączników (połączeń wtykowych), kontaktów (wtyków, końcówek), szyn zawieszanych, uszczelek. Unieruchamianie połączeń mechanicznych.
	Elementy zawieszane	Montaż i zamocowanie rezystorów, diod, kondensatorów, tranzystorów. Montaż i zamocowanie mikroukładów. Kontrola montażu elementów.
Wykonanie połączeń kontaktowych	Płytki z częściami, ERE, układy scalone	Powlekanie pastą lutowniczą i lutowanie połączeń. Przepłukiwanie i suszenie modułu. Kontrola połączeń kontaktowych.
Kontrola modułu i zabezpieczenie przed wpływami zewnętrznymi	Moduł	Kontrola i regulacja parametrów funkcjonalnych. Operacje montażowe (dodatkowe). Kontrola parametrów, zabezpieczenie modułu (lakierowanie), badanie i kontrola. Sprawdzenie zgodności z warunkami technicznymi.

Na etapie przygotowania do montażu należy opracować proces technologiczny: płytek drukowanych, ERE, układów scalonych i części konstrukcyjnych. Operacje przygotowania ERE i układów scalonych w produkcji małoseryjnej są wykonywane ręcznie na stanowisku pracy montera przy zastosowaniu prostych narzędzi. Elementy są umieszczane w pojemnikach technologicznych wg wartości nominalnej. W produkcji wielkoseryjnej są stosowane automaty do prostowania i obcinania zacisków, powlekania pastą lutowniczą i cynowania, przepłukiwania i suszenia przygotowanych elementów zawieszanych. Do przygotowania zautomatyzowanego są potrzebne specjalne kasety do załadunku i wyładunku elementów. W przypadku ERE z zaciskami osiowymi, które są kasetowane przez wklejanie do taśmy, formowanie odbywa się na automacie bezpośrednio przed montażem na płycie.

Montaż na płycie rozpoczyna się od wtyków, końcówek, szyn zawieszanych i uszczelk po przygotowaniu (prostowanie, odtłuszczenie) ich powierzchni bazowych. Montaż ERE i układów scalonych zależy od rodzaju produkcji jest wykonywany, zgodnie z szablonem, ręcznie lub automatycznie.

W czasie montażu ręcznego monter zgodnie ze schematem lub oznaczeniem elementu wyjmie go z pojemnika, montuje i w razie konieczności rozlutowuje zaciski. Pierwsze dwa przejścia stanowią większą część czasu jednostkowego. W celu zmniejszenia czasu montażu wszystkich elementów podwieszanych pole montażowe płytki dzieli na strefy, z których w każdej pracuje jeden monter. W tym przypadku można zorganizować przenośnikowy montaż elementów.

Montaż zgodnie z szablonem charakteryzuje się większym poziomem mechanizacji. Precyzyjne pozycjonowanie stołu montażowego jest dokonywane ręcznie za pomocą wtyku i otworów koordynujących w szablonie, a montaż elementów – automatycznie za pomocą głowicy montażowej. Sposób ten jest bardziej produktywny, lecz mniej uniwersalny, ponieważ wymaga zmiennych lub przezbrajanych narzędzi w czasie zmiany typowymiarów obudowy elementów.

Do zautomatyzowanego montażu jest stosowane specjalne wyposażenie NC lub kompleksy technologiczne zawierające elementy z kasetami technologicznymi.

Połączenia stykowe w modułach pierwszego poziomu są uzyskiwane głównie w wyniku lutowania lutem roztopionym lub częściowo stopionym w warunkach stałego lub impulsowego nagrzania strefy połączenia. W czasie jednostronnego montażu elementów zawieszanych na płycie i utrwalania ich pozycji (zaginanie, przyklejanie itd.) jest stosowane lutowanie zmechanizowane. Lutowanie grupowe płaskich zacisków układów scalonych jest wykonywane lutem nagrzanym lutownicą lub topionym przy impulsowym nagrzewaniu elektrod rolkami, promieniem lasera lub strumieniem gazu. Przy nagrzewaniu impulsowym ciepło jest zlokalizowane w strefie zacisków, w tym przypadku lut należy doprowadzić do strefy lutowania. Operacje przepłukiwania i suszenia modułów są konieczne w celu usunięcia pasty lutowniczej, produktów lutowania oraz innych zanieczyszczeń.

Są one wykonywane na zmechanizowanych liniach przENOŚnikowych. Jakość połączeń jest oceniana wizualnie.

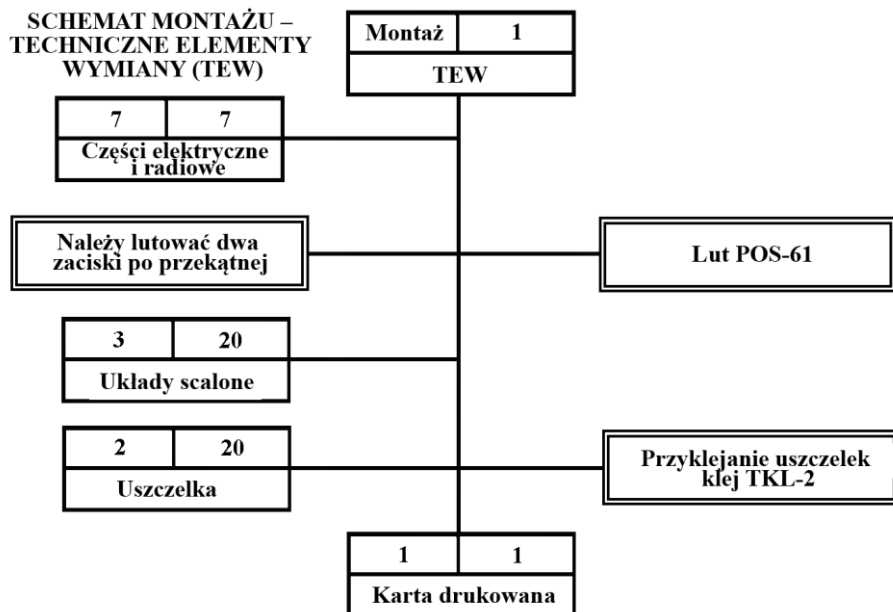
Etap kontroli modułów jest najbardziej odpowiedzialny i pracochłonny. Wykonywany jest w trybie: usuwania błędów, diagnostycznym i kontrolnym przy zastosowaniu specjalnego sprzętu, stanowisk oraz automatycznych systemów kontroli. Wymiana uszkodzonych układów scalonych wymaga dodatkowych operacji montażowych i ponownej kontroli parametrów. Przydatne moduły przechodzą przez operacje lakierowania i suszenia oraz, w razie konieczności, badania i kontroli parametrów.

Opracowanie schematu montażowego. Technologiczny schemat montażowy typowego elementu wymiany (TEW) jest przedstawiony na rys. 3.41, określa kolejność montażu części i jednostek montażowych na elemencie bazowym (lub jednostce montażowej). Na schemacie należy pokazać operacje realizacji połączeń mechanicznych (skręcanie, roznitowywanie, rozwalcowywanie, sklejanie, spawanie), operacje montażu elektrycznego (lutowanie, spawanie, nawijanie, rozmieszczenie drutów), operacje kontroli i uszczelniania (przepłukiwanie, suszenie, lakierowanie itd.).

W toku opracowania schematu montażowego należy wybrać część bazową. W przypadku modułów pierwszego poziomu jest to płytka drukowana, a modułów drugiego poziomu może to być ramka konstrukcyjna lub szkielet bloku, będący jednostką montażową. Części i jednostki montażowe są dostarczane w postaci prostokątów (zob. rys. 3.41), zawierających numery wg specyfikacji, nazwy i liczby. Od części bazowej w kierunku gotowej jednostki montażowej jest prowadzona główna linia montażu, a od części montowanych lub jednostek montażowych – linie do skrzyżowania z nią. Lokalizacja punktów skrzyżowania na linii głównej przedstawia wybraną kolejność montażu. Operacje montażu wskazują napisy w ramkach prostokątnych w tym miejscu, gdzie zostaną one wykonane. W celu uporządkowania schematu po jednej stronie od linii głównej przedstawiono jednostki montażowe części, które będą montowane, a po drugiej stronie – elementy złączne i operacje montażowe. Jeżeli napisy zajmują dużo miejsca, to operacje mogą zostać ponumerowane, a ich odszyfrowanie zostaje dokonane poza obrębem schematu montażowego.

Opracowanie marszruty procesu technologicznego montażu. Danymi wejściowymi do opracowania marszruty procesu technologicznego są: schemat montażu z częścią bazową, typowy proces technologiczny, program produkcyjny N , szt./rok, współczynnik obciążenia operacją K_{OO} – stosunek liczby operacji do liczby stanowisk pracy: $K_{OO}=1$ – produkcja masowa, $K_{OO}=2-10$ – wielkoseryjna, $K_{OO}=11-20$ – średnioseryjna, $K_{OO}=21-40$ – małoseryjna. Przy określonych N i K_{OO} jest określany średni czas operacji: $t_j=t_w/K_{OO}$, gdzie $t_w=60F/N$, F – roczny fundusz czasu. Wartość obliczeniowa t_j jest określana przez dyferencjację lub koncentrację operacji oraz dobór wyposażenia o określonej wydajności.

Marszruta procesu technologicznego jest korygowana po opracowaniu planu przebiegu (operacji) procesu technologicznego, normowaniu operacji i uzasadnieniu techniczno-ekonomicznym struktury operacji. Wg przytoczonego poniżej schematu jest sporządzana mapa marszruty procesu technologicznego montażu.



Rys. 3.41. Schemat technologiczny montażu TEW

Opracowanie operacji technologicznych. Cel etapu opracowania operacji procesu technologicznego to pełne uszczegółowienie wykonania operacji (tab. 3.22):

- określenie struktury operacji, kolejności przejść i pracy narzędzi,
- wykonanie operacji, w tym między innymi: wyodrębnienie zabiegów i przejść oraz warunków ich wykonania, wykonanie szkicu obrabianego elementu, czasu głównego, pomocniczego, opracowanie schematu bazowania lub montażu części, dopuszczalnych odchyłek bazowania oraz wymiarów geometrycznych uzyskiwanych w trakcie realizacji operacji, dobór narzędzi, a także określenie kierunków podstawowych przemieszczeń,
- określenie warunków montażu, czasu t_j z uwzględnieniem możliwości technologicznych uprzednio wybranego sprzętu, uściślenie czasu faktycznego obciążenia wyposażenia,
- określenie dokładności operacji, warunków montażu, odchyłek rzeczywistych oraz wymagań odnośnie dokładności wyposażenia montażowego,

- normowanie operacji, określenie kwalifikacji robotnika, obliczenie kosztów operacji technologicznych i wybór nlepiej spełniającej przyjęte kryteria techniczno-ekonomiczne,
- wybór wyposażenia technologicznego lub opracowanie zadania technicznego na jego projektowania.

Operacja ma strukturę równoległo-szeregową. Lutowane są jednocześnie dwa przeciwległe zaciski szeregowo do innych zacisków mikroukładu jak również układów scalonych zainstalowanych w jednym szeregu. Potrzebne są trzy przejścia (3 szeregi układów scalonych) z każdorazowym powrotem głowicy lutowniczej do pozycji wyjściowej (warunek ciągłego lutowania) i przemieszczeniem do współrzędnej następnego szeregu.

Tab. 3.22. Struktura procesu technologicznego

Nr porz.	Nazwa operacji	Wyposażenie, osprzet	T_j obliczeniowe	Kategoria pracownika	t_{pz}

t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy.

W czasie obliczeń ścieżki pracy głowicy lutowniczej należy znać skok urządzenia i długość obudowy układu scalonego. Jeżeli skok jest duży lub brak jest w szeregu układu scalonego, to wtedy jest racjonalnie przyspieszone przemieszczanie głowicy w celu zwiększenia wydajności. Prędkość technologiczna jest określana w taki sposób, aby czas kontaktu głowicy z zaciskiem nie był dłuższy niż 2–3 s, co umożliwia uzyskanie odpowiedniej jakości lutowania (szkieletowa forma połączenia, rozplływanie się lutu wzdłuż zacisku, brak łączników). Znając ruchy głowicy: robocze i jałowe można określić czas lutowania główny i pomocniczy. Czas montażu (usunięcia) płytki jest określany doświadczalnie lub na podstawie normatywów odpowiednich rodzajów prac montażowych. Można więc obliczyć czas operacji lutowania układu scalonego. Temperatura lutowania zależy od stosowanego lutu oraz dopuszczalnego nagrzania obudowy układu scalonego.

Danymi wejściowymi do określenia dokładności operacji są: wymiary płaskich zacisków układu scalonego i powierzchni stykowych płytki, maksymalna wartość przesunięcia zacisków po montażu i przyklejeniu obudowy układu scalonego, dokładność ustawienia końcówek głowicy, dokładność pozycjonowania i przemieszczenia roboczego głowicy. Wymiary zacisków i powierzchni są określane z dokumentacji konstrukcyjnej, dokładność montażu układu scalonego – z analizy poprzedniej operacji montażowej, inne dane – z dokumentacji sprzętu. Znając odchyłki można określić dopuszczalną sumaryczną odchyłkę analizowanej operacji.

W czasie normowania operacji lutowania układu scalonego należy wziąć za podstawę czas główny i pomocniczy, określić czas obsługi technicznej półautomatu oraz czas przygotowawczo-zakończeniowy niezbędny do jego nastawienia, a także powziąć decyzję odnośnie kwalifikacji pracownika.

Do techniczno-ekonomicznego uzasadnienia realizacji operacji należy określić technologiczny koszt własny lutowania układu scalonego $W_T = A + B/N$ (A – koszty bieżące, B – koszty jednorazowe) oraz porównać ewentualne warianty jej realizacji na różnych typach urządzeń lutowniczych.

Do wykonania operacji lutowania układów scalonych w rozpatrzonym przykładzie jest niezbędne urządzenie do ustawienia i zamocowania płytki na stole półautomatu. Dane wyjściowe niezbędne do jego projektowania to: schemat bazowania, dokładność operacji, czas operacji. Oprócz danych zawartych w zadaniu technicznym należy określić schemat ustawienia płytki w urządzeniu. Schemat ustawienia umożliwi wybranie konstrukcji montowanych elementów (podpórek) urządzenia, ich lokalizacji oraz punktu przyłożenia siły mocującej płytkę. Czas pomocniczy reglamentuje zmienność płytek w urządzeniu i typ napędu zamocowania (ręczny, pneumatyczny, elektromagnetyczny, mechaniczny).

Procesy technologiczne i jakość sprzętu mikroelektronicznego. Opracowanie procesu technologicznego produkcji, montażu i nastawienia sprzętu mikroelektronicznego powinno być realizowane na dwóch podstawach: technicznej i ekonomicznej. Podstawa techniczna – proces technologiczny ma zapewniać niezbędną jakość wytwarzanego sprzętu mikroelektronicznego. Podstawa ekonomiczna – proces technologiczny ma zapewniać produkcję sprzętu mikroelektronicznego przy minimalnych kosztach i wysokiej wydajności pracy.

Przez jakość rozumie się całokształt cech sprzętu mikroelektronicznego, odpowiadających wymaganiom zleciodawcy, normom państwowym i międzynarodowym. Pojęcie jakości można sprowadzić do następujących wskaźników: niezawodność i długowieczność, technologiczność, dokładność, ergonomiczność, wskaźniki patentowo-prawne, standaryzacja oraz unifikacja, wskaźniki ekonomiczne, wskaźniki ekologiczne. Wyróżnia się bazowe, częściowe i kompleksowe wskaźniki jakości.

Na jakość wyrobu silnie wpływa dokładność jego części, elementów, węzłów itp.

Dokładność parametrów sprzętu mikroelektronicznego. Dokładność to stopień zgodności rzeczywistego (otrzymanego) parametru z nominalnym (X). Stopień zgodności jest określony przez odchyłkę dopuszczalną (δ) parametru wyrobu. Parametr rzeczywisty różni się od nominalnego i leży w granicach pola tolerancji określanego odchyłką górną i dolną. Przy symetrycznym położeniu pola tolerancji, można więc zapisać, że: $X \pm \delta/2$.

Wszystkie parametry jakości są podzielone na następujące grupy:

- geometryczne – wymiary liniowe, mikronierówność (chropowatość), makronierówność (nierównoległość, owalność, nieprostokątność itd.),
- fizyczne – indukcyjność, opór, pojemność, przepuszczalność magnetyczna, przewodność itd.,
- chemiczne – rozpuszczalność, stężenie, prędkość trawienia, prędkość dyfuzji, itd.

Do określenia dokładności wymiarów liniowych elementów części jest stosowany układ tolerancji i pasowań oparty na międzynarodowym układzie norm ISO.

Parametry mają rozrzut spowodowany odchyłkami produkcyjnymi ($\Delta\Sigma$). Wyróżnia się trzy rodzaje odchyłek produkcyjnych: systematyczne, systematyczne zmienne, przypadkowe. W praktyce żadna z tych odchyłek nie występuje w czystej postaci. Odchyłka ogólna jest kombinacją wymienionych rodzajów odchyłek.

Jeżeli wartość odchyłki jest większa od odchyłki dopuszczalnej określonej przez konstruktora, to część parametrów przekroczy dopuszczalny zakres i wyrób zostanie wybrakowany. Aby do tego nie doszło, należy zwiększyć dokładność procesu technologicznego, dobrać bardziej dokładny sprzęt, stabilizować warunki pracy, zmienić metodę obróbki, montażu itd.

Metody oceny dokładności. Ze wszystkich metod oceny dokładności przy produkcji sprzętu mikroelektronicznego najczęściej jest stosowana obserwacja w halach produkcyjnych, metoda statystyczna i obliczeniowo-analityczna.

Metoda obserwacji w halach produkcyjnych opiera się na gromadzeniu danych o dokładności wyrobów otrzymanych w wyniku obróbki i montażu przy zastosowaniu określonego sprzętu i wyposażenia z uwzględnieniem obrabianych materiałów, narzędzi itp. Dane te są systematyzowane i zapisywane do tabeli. Takie tabele mogą być stosowane do wstępnej oceny dokładności procesu technologicznego.

Metoda statystyczna oceny dokładności jest oparta na teorii prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Ponieważ proces produkcji sprzętu mikroelektronicznego charakteryzuje się dużą ilością czynników, które wpływają na jakość i wymagają systemowego podejścia do jego analizy i syntezy, to do badania dokładności procesu technologicznego są stosowane różne metody statystyczne. Analiza krzywych rozrzutu umożliwia ocenę rozrzutu odchyłek procesu technologicznego oraz określenie możliwych braków.

W określeniu charakterystyk prawdopodobieństwa ważną rolę odgrywa liczba części, które należy zmierzyć, żeby otrzymać wartości charakterystyk wystarczająco dokładne i wiarygodne. Do celów praktycznych zwykle wystarcza zmierzyć 50–100 części. W przypadku, kiedy nie da się uzyskać takiej liczby części i charakterystyki prawdopodobieństwa są określane na podstawie mniejszej wartości N , dokładność i wiarygodność wyników należy oceniać w oparciu o metody statystyki matematycznej.

Podział odchyłek systematycznych zmiennych odbywa się wg różnych norm. W prostym przypadku stała odchyłka systematyczna wywołana na przykład pierwotnym ustawieniem automatu powoduje przemieszczenie krzywej rozrzutu odchyłek przypadkowych o określoną wartość. W toku produkcji części, na kilku automatach jednocześnie, taka odchyłka systematyczna doprowadzi do rozciągnięcia i spłaszczenia krzywej rozrzutu. Ocenę ewentualnego udziału braków w tych przypadkach można przeprowadzać bezpośrednio wg krzywych rozrzutu przy pomocy metod graficznych.

W trakcie długotrwałej produkcji szczególnie ważnych części, elementów lub modułów można regularnie powtarzać analizę statystyczną, dzięki czemu można zbudować wykresy zmiany dokładności w czasie, a więc zmienić wyposażenie lub przejść na nowy proces technologiczny we właściwym czasie.

Wydajność pracy i norma czasu na sztukę. Wydajność pracy $Q=I/t$, szt./godz. to liczba wyrobów wyprodukowanych w jednostce czasu t (godz., jedna zmiana). Pracochłonności wykonania operacji nazywa się normą czasu na sztukę t_{sz} . Technicznie uzasadnioną normę czasu na sztukę określa się według zależności:

$$t_j = t_g + t_p + t_{oo} + t_{ot} + t_{prz}, \quad (3.35)$$

gdzie: t_g – czas główny operacji, t_p – czas pomocniczy (ustawianie, zamocowanie i odmocowania półfabrykatu i części przy obróbce i montażu, wyłożenie i usunięcie narzędzi itp.), t_{oo} – czas na obsługę organizacyjną stanowiska pracy, na przykład: dostarczenie półfabrykatów, części, narzędzi na stanowisko pracy, t_{ot} – czas na przygotowanie stanowiska pracy, włączenie sprzętu, rozgrzanie, wyłączenie sprzętu i jego sprzątnięcie itd., t_{prz} – czas przerw w pracy (przy produkcji potokowo-przenośnikowej).

Czas wytwarzania jest sumą czasu głównego i pomocniczego $t_w = t_g + t_p$, a czas obsługi sumą czasu obsługi organizacyjnej i technicznej $t_o = t_{oo} + t_{ot}$. Z reguły $t_o = t_w$. Bardziej precyzyjne wartości składników t_j są zamieszczone w literaturze informacyjnej, dotyczące normowania prac w produkcji sprzętu mikroelektronicznego.

W produkcji seryjnej charakterystyczne jest przebrojenie sprzętu i zmiana oprzyrządowania do produkcji nowej partii wyrobów. Czas przeznaczony na te zadania nazywa się przygotowawczo-zakończeniowym i jest oznaczany jako t_{pz} . W tych warunkach norma: czas na sztukę jest określana, jako:

$$t = t_j + \frac{t_{pz}}{n}, \quad (3.36)$$

gdzie: n – liczba wyrobów w partii.

Przy pracy automatycznej czas jednej operacji jest określany wg zależności: $t_c = t_{rr} + t_{rj}$, gdzie: t_c – czas cyklu automatu przy realizacji jednej operacji; t_{rr} – czas wykonania ruchów roboczych (analog t_g), t_{rj} – czas wykonania ruchów jałowych (analog t_p). Wydajność automatu w takich warunkach wynosi $Q = 1/t_c$.

Zwykle wydajność automatów oraz innego wyposażenia jest określana na podstawie charakterystyk technicznych zawartych w informatorach lub dokumentacji techniczno-ruchowej. Na przykład, montaż układów scalonych na automacie określonej marki jest wykonywany z prędkością 2000 szt./godz., czyli jeden układ scalony jest montowany w ciągu 1,8 s.

W celu zmniejszenia czasu głównego stosuje się grupową obróbkę równoległą, na przykład przy wielowrzecionowym wierceniu płytek drukowanych, jednoczesnym wierceniu kilku płytek w pakiecie, lutowanie płytek drukowanych przez zanurzanie (wszystkie połączenia są lutowane jednocześnie). Czas główny można również zmniejszyć w wyniku zastosowania urządzeń szybkozaciśkających, obróbkę równoległą kilku elementów w jednym urządzeniu, zmechanizowania napędów itd.

Obniżenie t_{oo} wymaga zastosowania programowalnych urządzeń kompletnych zapewniających szybkie dostarczenie do miejsc pracy wyrobów kompletnych, narzędzi, półwyrobów, a t_{ot} niezawodnego wyposażenia – zapewnia to trwałe zachowanie nastawionych technologicznych warunków pracy. Czas przerw t_{prz} jest określony zgodnie z odpowiednimi normami i nie może być obniżany.

Zmniejszenie t_{pz} można uzyskać w wyniku zastosowania obrabiarek sterowanych numerycznie, w których przy produkcji następnej partii wyrobów potrzebna jest tylko wymiana oprogramowania. Perspektywiczne zwłaszcza są elastyczne systemy produkcyjne, składające się z elastycznych modułów produkcyjnych o sterowaniu zcentralizowanym (ASS PT).

Jeżeli grupowy proces technologiczny już nie umożliwia zwiększenia wydajności pracy, należy go zmieniać. W przeciwnym przypadku produkcja przestanie być konkurencyjna. Na przykład, ręczna kontrola charakterystyk węzłów drukowanych zajmuje dużo czasu, natomiast zastosowanie testowej kontroli sprzętu zmniejsza wielokrotnie czas operacji kontrolnych.

Opracowanie grupowego procesu technologicznego to zadanie wielowariantowe. Można wydajnie podnieść produktywność i obniżyć pracochłonność operacji, ale może to spowodować wzrost wartości wyrobów gotowych. Dlatego podstawowym kryterium wyboru wariantu są koszty, tzn. koszt własny analizowanego procesu technologicznego.

Można na przykład zastosować przy realizacji grupowego procesu technologicznego bardziej tanie, lecz mniej wydajne wyposażenie lub drogie i wysoko wydajne. W warunkach małego programu koszt drogiego wyposażenia spowoduje wzrost wartości własnej wyrobu, dlatego jego zastosowanie jest bardziej opłacalne przy większym programie produkcyjnym. W drugim przypadku

ewentualnie trzeba będzie więcej zapłacić robotnikowi, ponieważ sprzęt jest bardziej skomplikowany i powstanie konieczność zatrudnienia pracownika o wyższych kwalifikacjach, ale wydajność, tzn. pracochłonność, będzie większa, niż w pierwszym przypadku.

3.5. Projektowanie grupowego procesu technologicznego pakowania

W produkcji opakowań najistotniejszy jest proces technologiczny pakowania, którego wynikiem jest gotowe opakowanie, które jest rozpatrywane jako wyrób, składający się z pakowanego produktu, zestawu środków do pakowania (pojemnik i środki wspomagające pakowanie – ŚWP) i nośnika informacji o pakowanym produkcie oraz o warunkach jego otrzymania, pakowania i użycia.

Proces technologiczny pakowania zawiera operacje technologiczne i pomocnicze.

Nie uwzględniając różnorodności pakowanych produktów, można wyodrębnić następujące operacje technologiczne:

- fasowanie, czyli dawkowanie produktu i przemieszczenie go do pojemnika,
- hermetyzacja, zapewniająca ustalenie i przechowywanie dawki,
- przyłączenie nośnika informacji, na przykład etykiety.

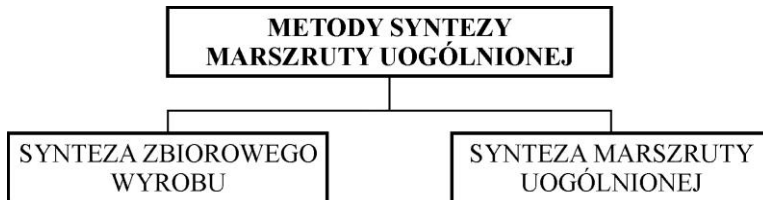
Do operacji pomocniczych, zapewniających możliwość wykonania operacji głównych, zalicza się :

- transport i magazynowanie, umożliwiające dostawę pojemników, produktu, ŚWP do sprzętu, zapewniającego ich współdziałanie przy wytwarzaniu opakowań, a także wyprowadzenie opakowań z układu technologicznego pakowania,
- kontrolę jakości procesu pakowania. Może być przeprowadzona w sposób bezpośredni lub pośredni,
- kolejność wykonania operacji technologicznych w trakcie pakowania nie jest bezwzględnie stała. Możliwa jest realizacja operacji:
 - równoległa, przy której wszystkie działania przebiegają jednocześnie, a cykl technologiczny procesu jest określany przez najdłuższą operację,
 - szeregowa, przy której wszystkie czynności przebiegają w określonej kolejności, a technologiczny cykl jest sumą czasu realizacji wszystkich operacji,
 - mieszana, przy której część operacji przebiega równoległe, a część szeregowo.

3.5.1. Procedura syntezy grupowego procesu ESPO

Projektowanie grupowego procesu pakowania produktów określonego rodzaju można dokonać na dwa sposoby (rys. 3.42):

1. Synteza technologiczna marszruty uogólnionej – obejmuje analizę procesów w przypadku poszczególnych wyrobów oraz łączenie podobnych operacji w grupę, która jest wykonywana na sprzęcie o takiej samej konfiguracji.
2. Synteza wyrobu zbiorowego, obejmująca analizę struktur zbioru wyrobów, opracowanie wirtualnego zintegrowanego wyrobu, zawierającego wszystkie elementy określonego zbioru, opracowanie grupowego procesu oraz wirtualny podział uogólnionego procesu na poszczególne procesy do wytwarzania każdego wyrobu.



Rys. 3.42. Metody formowania uogólnionej marszruty

Procedura syntezy technologicznej procesu jest częścią projektowania optymalnego zestawu technologii w ESPO [3.19]. Określenie zgodności technologii związanych z obsługą konkretnych ESPO, polegające na zastosowaniu tego samego sprzętu i narzędzi, umożliwi obniżenie kosztów oraz zwiększenie wykorzystania maszyn (rys. 3.43).

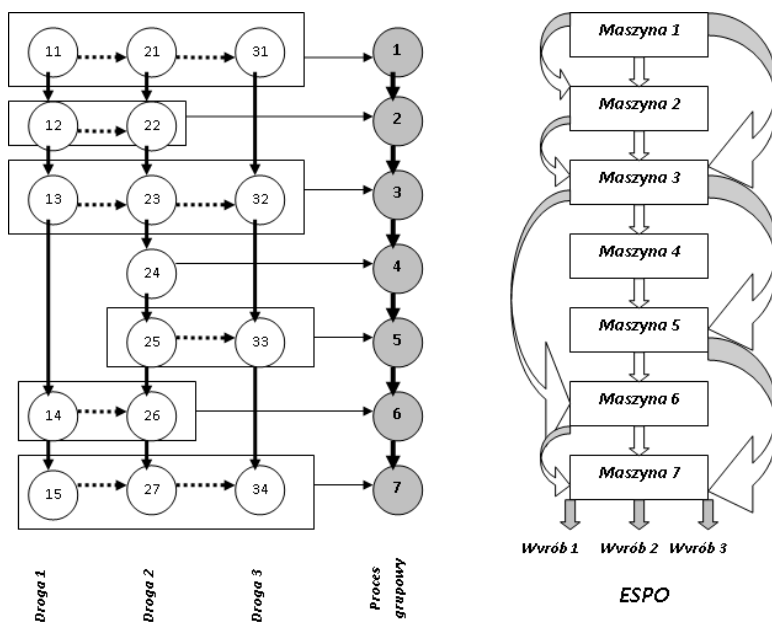
Analiza zgodności technologii, realizowanych w ESPO, umożliwi określenie konieczności zastosowania dodatkowych technologii w procesie grupowym lub wykluczenia z procesu aktywnych, lecz nieskutecznych [3.19].

Można obliczyć współczynnik integracji technologii w procesie grupy jako iloraz efektu E od technologii i kosztów jej organizacji W :

$$K_{it} = \frac{E}{W} . \quad (3.37)$$

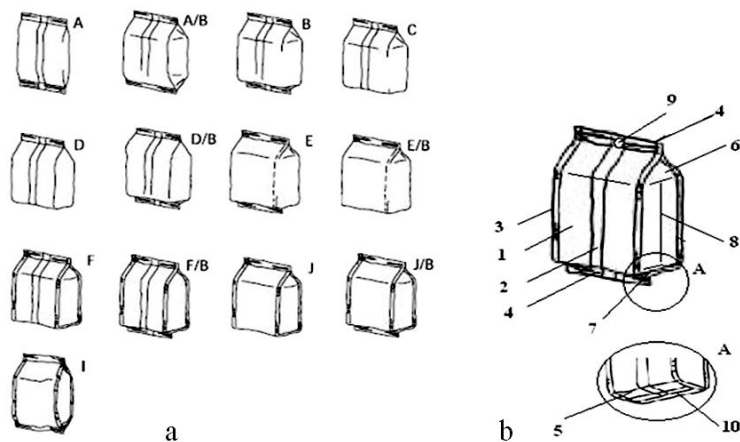
Jeżeli współczynnik ten jest wysoki w porównaniu ze współczynnikiem w przypadku technologii istniejących, należy podjąć decyzję o dodaniu technologii analizowanej do procesu grupowego ESPO.

Aby zwiększyć elastyczność ESPO należy ocenić, w oparciu o materiał statystyczny, kolejność zamówień wyrobu, czyli realizacji procesów technologicznych.



Rys. 3.43. Kształtowanie z procesów indywidualnych marszruty uogólnionej

Procedura syntezy wyrobów zbiorowych [3.19] opiera się na grupowaniu wyrobów oraz opracowaniu grupowego procesu w przypadku modelu opakowania.



Rys. 3.44. Typowe opakowania produktów sypkich (a) i elementy pakietu zbiorowego (b): 1 – korpus, 2 – szew wzdłużny, 3 – szew narożny, 4 – szwy poprzeczne, 5 – dno, 6 – górna fałda, 7 – dolna fałda, 8 – boczne fałdy, 9 – otwór do zawieszenia, 10 – zagięty dolny szew

Jako przykład, zostanie przeanalizowane zastosowanie tego podejścia do opracowania grupowego procesu pakowania materiałów sypkich. Najczęściej używanym opakowaniem z tworzywa sztucznego jest opakowanie w postaci tuby z dnem występujące w różnorodnych konfiguracjach, z kłapkami lub bez.

Pierwszym krokiem jest określenie zbioru elementów konstrukcyjnych opakowania (rys. 3.44). Każdy pakiet w zależności od rodzaju, zawiera szereg elementów. Pakiet zbiorowy (rys. 3.44 b), na podstawie, którego jest opracowywany proces grupowy wytwarzania opakowań, zawiera elementy wspólne w przypadku wszystkich wyżej wymienionych konstrukcji opakowań. Elementy te odpowiednio oznaczono: a_1, a_2, \dots, a_{10} . Ważne są również wymiary opakowania, szerokość folii i wielkość jej przemieszczenia przypadająca na cykl pracy.

Na podstawie elementów konstrukcyjnych pakietu kompleksowego opracowano systemowy model wyrobu. Uważa się, że model ten jest zbiorem, którego podzbiorem są wszystkie pakiety w grupie. Ponieważ do wykonania każdego elementu strukturalnego opakowania niezbędne jest wykonanie określonego zabiegu technologicznego, to w przypadku produkcji całej grupy opakowań ESPO powinien mieć możliwości technologiczne do wdrożenia N zabiegów:

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{ij}, \quad (3.38)$$

gdzie: a_{ij} – j -ty element i -tego typu opakowań;

n – liczba typów opakowań w grupie;

m_i – liczba elementów w i -tym opakowaniu.

Ponieważ nie na każdej maszynie technologicznej jest możliwość wykonania kilku zabiegów, to całkowita liczba zabiegów w przypadku, której jest tworzony ESPO jest zmniejszona.

W wyniku realizacji technologicznego zabiegu czy operacji jest tworzony lub modyfikowany odpowiedni element konstrukcyjny. W tym przypadku uogólniona trasa pakowania zawiera wszystkie możliwe przejścia lub operacje (tab. 3.23).

Po wyodrębnieniu zabiegów lub operacji technologicznych, należy przeprowadzić analizę ich wdrożenia w przypadku każdego typu opakowania oraz opracować grupowy proces pakowania. Proces taki musi umożliwiać utworzenie elementów konstrukcyjnych, właściwych wszystkim typom pakietów w określonej kolejności oraz realizację operacji pomocniczych. Grupowy proces technologiczny zawiera wszystkie możliwe sposoby pakowania produktów sypkich do pakietów wszystkich typów konstrukcyjnych.

Po określeniu tras indywidualnych, w oparciu o opracowany grupowy proces technologiczny może być określona kolejność wykonania grupowych dróg technologicznych. Co jest charakterystyczne dla EGP, podobnie jak w elastycznych liniach zautomatyzowanych, nie określa się kolejności wykonania operacji grupowych.

Tab. 3.23. Kodowania zabiegów technologicznych (f) i pomocniczych (d) i ich odpowiedniość elementom konstrukcji pakietu (rys. 3.58 b)

Element pakietu	Zabieg technologiczny	Treść zabiegu
a1	f ₁	Formowanie rękawa z folii
a2	f ₂	Tworzenie spoiny wzdłużnej
a3	f ₃	Tworzenie spoin na rogach
a4	f ₄	Tworzenie spoin poprzecznych
a5	f ₅	Tworzenie płaskiego dna
a6	f ₆	Zginanie górnych fałd
a7	f ₇	Zginanie dolnych fałd
a8	f ₈	Tworzenie bocznych fałd
a9	f ₉	Wycinanie otworów w spoinie
a10	f ₁₀	Zginanie dolnej spoiny
Zabieg wspomagający		
	d ₁	Przeciąganie folii
	d ₂	Odcinanie gotowego pakietu
	d ₃	Podawanie produktu

Tab. 3.24. Macierz realizacji funkcji dla różnych typów pakietów

	A	A/B	B	C	D	E	E/B	D/B	F	J	J/B	F/B	I	H	Uogóln. TO	Li- czba FM
f ₁	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
f ₂	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
f ₃									•	•	•	•	•		•	4
f ₄	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
f ₅			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	2
f ₆		•	•	•		•	•	•			•	•			•	2
f ₇		•				•									•	2
f ₈														•	•	2
f ₉	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
f ₁₀				•			•	•	•	•					•	1
Złożoność produkcji pakietu	4	6	6	7	5	6	7	7	7	7	7	7	5	5	10	17

3.5.2. Integracja procesów pakowania

Tradycyjny proces technologiczny obejmuje operacje, wykonywane na różnych stanowiskach roboczych. Przy czym, z reguły, na każdej kolejnej operacji parametry opakowania powinny przybliżać się do wymaganych. Na każdej operacji pojemniki najczęściej są ustawiane na różnych urządzeniach, co komplikuje proces przemieszczania międzyoperacyjnego. Szczegółne odnosi się to do opakowań skomplikowanych, których produkcja wymaga znacznej liczby różnych operacji.

Złożoność trajektorii przemieszczania opakowania w roboczych strefach maszyn znajduje odzwierciedlenie w schemacie transportowo-technologicznym. Trajektorię można znacznie uprościć w wyniku koncentracji operacji pakowania na jednym stanowisku (na przykład maszynie wielopozycyjnej) i wytwarzania zintegrowanego opakowania na jednym albo kilku rotorach.

Koncentracja operacji na jednym stanowisku roboczym umożliwia efektywną obserwację nastawienia procesu technologicznego, zapewniając wysokie wskaźniki współczynników nastawienia i zapasu dokładności, na przykład dawkowania, co z kolei prowadzi do zwiększenia jakości opakowań. Zmniejszeniu również ulega powierzchnia produkcyjna i czas międzyoperacyjnego przemieszczania opakowań.

Istnieją różne strategie i sposoby realizacji pakowania zintegrowanego. Przeprowadzona analiza pozwoliła zwiększyć efektywność poszukiwania decyzji optymalnych przy budowie oprzyrządowania do pakowania zintegrowanego, do opakowań o skomplikowanych kształtach w różnych warunkach produkcyjnych. Analiza odzwierciedla strukturę i wzajemne związki różnych czynników układu technologicznego, wpływających na wybór optymalnej strategii zintegrowanego procesu technologicznego, pakowania i środków technicznych jego realizacji.

W każdej fazie analizy są rozpatrywane możliwe kierunki optymalizacji i automatyzacji sposobów załadunku-rozładunku, orientacji, a także ustawienia i zamocowania wyrobów w urządzeniu w celu osiągnięcia maksymalnej skuteczności procesu technologicznego.

Opakowanie zintegrowane dyktuje specyficzne wymagania dotyczące sprzętu i oprzyrządowania.

Integracja operacji pakowania na jednej maszynie jest rzeczywiście rozwiązaniem innowacyjnym w technologii pakowania. Pozwoliła podnieść technikę pakowania na absolutnie nowy poziom.

Istnieją różne strategie i sposoby realizacji zintegrowanego pakowania. Przeprowadzona analiza pozwoliła utworzyć schemat klasyfikacyjny kierunków realizacji zintegrowanego pakowania (tab. 3.25), co pozwala zwiększyć efektywność poszukiwania optymalnych decyzji przy opracowywaniu oprzyrządowania do pakowania zintegrowanego w odniesieniu do opakowań o skomplikowanym kształcie w różnych warunkach produkcyjnych.

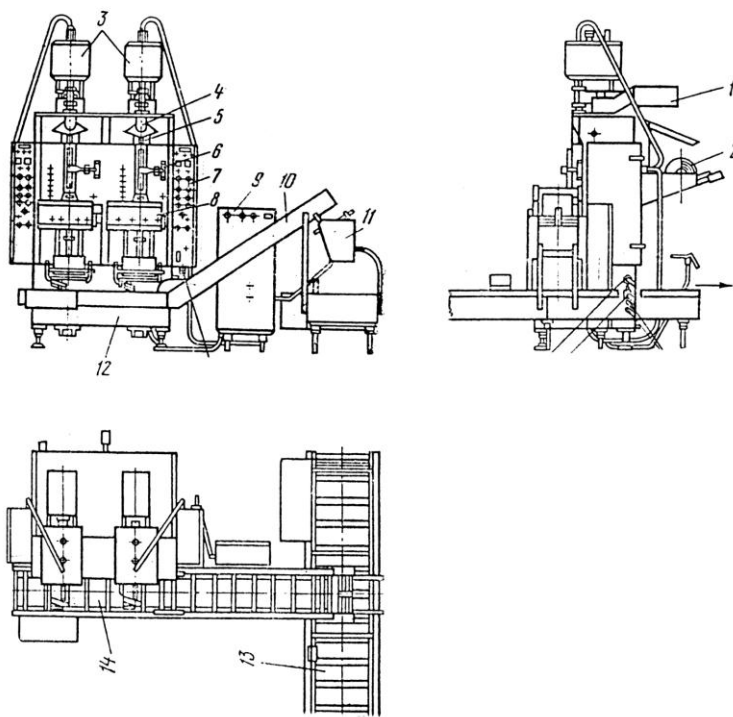
Tab. 3.25. Poziomy integracji systemu technologicznych maszyn

KCx		Elementy integracji procesu							
		Ruchy i zabiegi technologiczne		Zabiegi		Części operacji		Operacje	
				Stanowisko technologiczne		Bloki pozycji technologicznych		Maszyny technologiczne	
				Jednakowe	Różne	Jednakowe	Różne	Jednakowe	Różne
Ilość przepływów wyrobów	Jeden	TM jednopozycyjny	-	MT szeregowy	-	MT agregatowy szeregowy	-	Linia szeregową	
	Kilka	Równoległe podawanie	MT równoległy	MT szeregowo-równoległy	MT agregatowy równoległy	MT agregatowy szeregowy	Linia równoległa	Linia szeregowo-równoległa	
		Z przesunięciem w fazie	-	MT z rotorem	-	-	Blok agregatowy	-	Linia obrotowa
Rodzaj MT	jednopozycyjna TM	MT wielopozycyjny		MT agregatowy		Linia produkcyjna			

Schemat klasyfikacyjny bazuje na wynikach analizy wszystkich etapów procesu pakowania. Danymi początkowymi do integracji pakowania są: typ produkcji, charakterystyki maszyny technologicznej, a także parametry pojemników, materiału i opakowania. W wyniku analizy przeprowadzonej przy zastosowaniu schematu klasyfikacyjnego, można opracować optymalną konstrukcję oprzyrządowania technologicznego do realizacji zintegrowanego pakowania partii opakowań, przy zastosowaniu minimalnej liczby elementów transportu. Kryteriami wyboru optymalnej decyzji są: efektywność ekonomiczna, dokładność położenia, pewność zamocowania i maksymalna dostępność do mechanizmów maszyny. Stosowanie schematu klasyfikacyjnego pozwala wyodrębnić zasadniczo nowe sposoby i schematy urządzenia do realizacji pakowania zintegrowanego.

W otrzymanej klasyfikacji używane jest pojęcie „blok pozycji” jako jednostka strukturalna do budowy urządzenia agregatowego.

W realnym urządzeniu do pakowania, zblokowane pozycje, jako jednostki do budowy są stosowane zbyt rzadko, a jako jednostki do opisu struktury urządzenia zastosowane zostały po raz pierwszy. Jako przykład, można rozpatrzyć budowę zblokowanych pozycji tworzenia opakowania polimerowego do mleka i dawkowania mleka w automacie dwublokowym M6-OP2E (rys. 3.45).



Rys. 3.45. Automatykna maszyna do pakowania mleka – model M6-OP2E:
1 – dozownik, 2 – rolka, 3 – zbiornik, 4 – rurka do dawkowania,
5 – rurka kształtowa, 6 – mechanizm spawania wzdłużnego, 7 – elektroszafa,
8 – mechanizm spawania poprzecznego, 9 – elektroszafa przenośnika,
10 – transporter pakietów, 11 – bunkier pakietów, 12 – podstawa,
13 – przenośnik skrzynek, 14 – poziomy przenośnik pakietów

W tym przypadku znajduje zastosowanie blok pozycji do dawkowania mleka, kształtowania rękawa z folii, spawania pakietu wzdłużnego i poprzecznego, jego odcinania i przemieszczania na następną pozycję. W maszynie na wspólnej podstawie, znajdują się dwa takie bloki, połączone za pomocą przenośnika 14 ze strefą przenośnika wyjściowego 16, gdzie znajdują się pojemniki transportowe 15. Utworzenie zespołowych specjalistycznych maszyn jest najbardziej ekonomiczną drogą automatyzacji. Takie kompleksowe maszyny, często także wykonują operacje zaopatrzeniowe (na przykład, tworzenie pakietu z folii), operacje główne i wyjściowe (hermetyzacji, obróbki produktu, znakowania, kontroli i tym podobne).

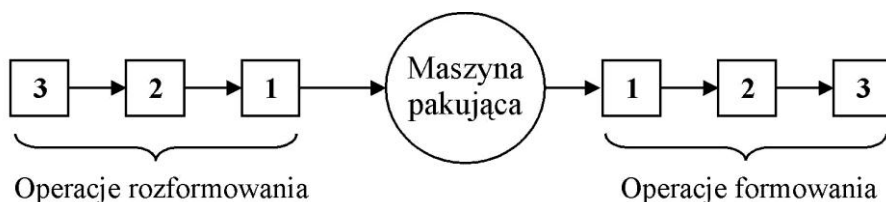
Pakowanie zintegrowane dyktuje specyficzne wymagania odnośnie budowy urządzenia. Przede wszystkim jest to zapewnienie maksymalnej dostępności mechanizmów funkcjonalnych do opakowania na różnych pozycjach maszyn.

Trzeba także podkreślić, jak pokazała analiza informacji technicznej od renomowanych producentów maszyn do pakowania, znaczące zmniejszenie liczby jednostek urządzeń technologicznych, wchodzących w skład linii technologicznych w wyniku zwiększenia koncentracji operacji na jednej maszynie.

Szczególne znaczenie przy opracowaniu wysokowydajnej produkcji pakowania zajmuje problem połączenia przepływu materiałów z maszynami technologicznymi. W celu wejścia na maszynę przepływ elementów musi być zdeterminowany, czyli wyroby muszą być odpowiednio zorientowane i dostarczane w określonym czasie. W przypadku podawania, kiedy przepływ pojemników jest niezdedeterminowany niezorientowany w wielu rzędach na wejściu maszyny technologicznej należy umieścić następujące mechanizmy:

- kształtowania potoku jednorzędowego,
- orientowania wyrobów (pojemników),
- zapewnienia stałej (zdeterminowanej) gęstości wyrobów w potoku (dyskretyzator).

Podczas fasowania na przykład płynów spożywczych, butelka jest dostarczana do maszyny w jednorzędowym potoku zorientowanym. Maszyna jest wyposażona w mechanizm sprzęgania – mechanizm zapewnienia stałej odległości między butelkami, wykonany w postaci przenośnika śrubowego lub gwiazdki podziałowej.



**Rys. 3.46. Kolejność przemiany jednostki transportowej w automatyzowanej linii:
 1 – pojemnik spożywczy, 2 – pojemnik transportowy (skrzynka, pudełko),
 3 – pakiet transportowy (paleta)**

Każde przedsiębiorstwo w branży opakowań, które chce wprowadzić nową jednostkę sprzętu, zmienić albo udoskonalić istniejące linie, przeważnie zderza się z problemami integracji. Należy dobrać sprzęt najlepiej odpowiadający wymogom, a następnie poprawnie go zainstalować.

Z reguły, projekty związane z integracją, wymagają ekspertyzy możliwości producenta. W realizacji takich projektów koniecznie muszą uczestniczyć specjaliści z zakresu integracji. Potrafią oni ocenić problem w sposób globalny i pomóc nie tylko w montażu sprzętu, lecz także rekomendować sprzęt optymalny do realizacji konkretnego projektu (w odróżnieniu od bezpośredniego sprzedawcy, który przede wszystkim troszczy się o własne korzyści).

Czasami integrator może zaproponować nowy design opakowania, żeby ułatwić proces produkcji. Jest to ważne zwłaszcza wtedy, kiedy chodzi o opakowania o niestandardowym kształcie. Takie działanie prowadzi do zwiększenia technologiczności wytwarzania produktu.

Przy opracowaniu warunków technicznych i ekonomicznych, przede wszystkim, bierze się pod uwagę powierzchnie produkcyjne, wydajność różnych rodzajów sprzętu oraz wstępny schemat układu linii. Często znajdują zastosowanie wykresy trójwymiarowe i modelowanie programowe.

W warunkach rzeczywistych na każdej maszynie technologicznej można wykonać kilka zabiegów, a więc ogólna liczba zabiegów, dla której jest projektowany ESP może być istotnie zredukowana. Przy tym, im bardziej jest uniwersalny sprzęt, tym większa jest redukcja zabiegów, a więc w ESP może być mniej różnych maszyn technologicznych i tym prostszy jest jego układ.

3.5.3. Podwyższenie uniwersalności środków technicznych ESP pakowania

Głównymi przyczynami, determinującymi potrzebę uniwersalizacji urządzeń do pakowania, są:

- sezonowość produkcji wielu rodzajów wyrobów,
- produkowanie niektórych rodzajów wyrobów w ograniczonych partiach.

Znaczne możliwości zapewnienia uniwersalności urządzeń do pakowania może zapewnić zastosowanie ESP, zbudowanego na podstawie funkcjonalnie-modułowej zasady projektowania. Dowolny proces technologiczny pakowania może być zrealizowany przy zastosowaniu ograniczonej liczby powiązanych między sobą modułów funkcjonalnych. Przy takim podejściu do projektowania konstrukcji urządzeń do pakowania znacznie zmniejszają się czas i koszty na projektowanie, produkcję, eksploatację i modernizację.

Zastosowanie we współczesnych urządzeniach do pakowania systemów sterowania na bazie mikroprocesora stwarza przesłanki do budowy uniwersalnych kompleksów do pakowania, przydatnych w pracy z różnymi produktami, materiałami opakowaniowymi i typami pojemników.

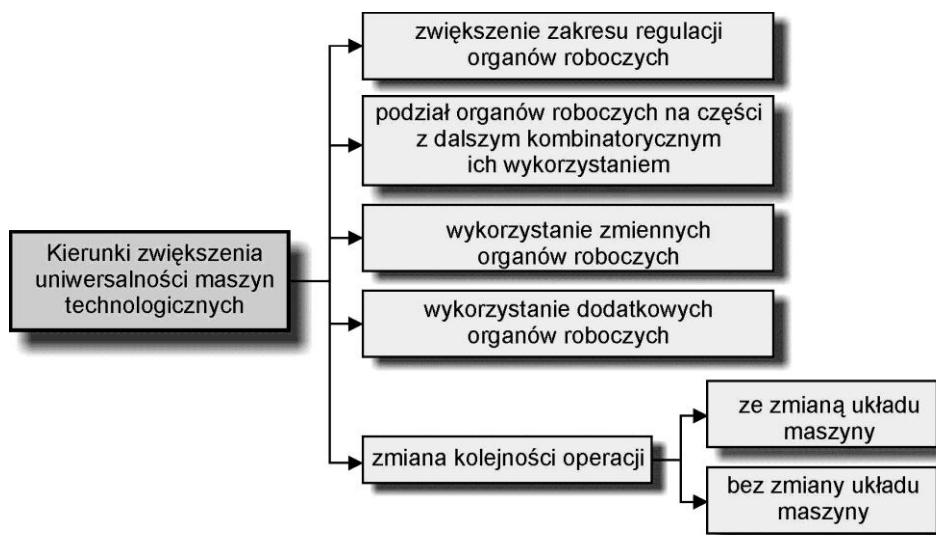
Zastosowanie współczesnych systemów sterowania umożliwia zastosowanie struktury modułowej ESP oraz poszczególnych automatów, przy czym maszyny i mechanizmy składowe dzieli się na: stałe i rekonfigurowalne. Parametry pracy elementów stałych ESP nie ulegają zmianie – ustawienia są zmieniane tylko w przypadku, kiedy jest to niezbędne w związku ze specyfiką materiału opakowaniowego, produkcji opakowywanej i rodzaju opakowania. Możliwość zmiany parametrów, kolejności pracy maszyn i ich mechanizmów, zakres zmiany charakterystyk wejściowych materiałów określa stopień elastyczności ESP.

Projektowanie funkcjonalno-modułowe zakłada zastosowanie zasady modułowej w celu podwyższenia elastyczności automatów do pakowania w wyniku zastosowania kombinatorycznej wariantowości układu automatu lub jego mechanizmów. Metodyka zapewnienia elastyczności obejmuje następujące etapy:

- podział mechanizmu funkcjonalnego na kilka elementów,
- wyodrębnienie asortymentu takich elementów,
- opracowanie specyfikacji związków między elementami,
- wygenerowanie możliwych układów strukturalnych o różnych elementach i różnych łącznikach między nimi.

Uniwersalizacja ma na celu rozszerzenie funkcji maszyn technologicznych, zwiększenie zakresu parametrów wykonywanych operacji, rozszerzenie asortymentu obrabianych wyrobów. Zwiększa przystosowywanie maszyn do wymogów produkcji, podwyższa współczynnik ich wykorzystania. Z ekonomicznego punktu widzenia uniwersalizacja umożliwia zmniejszenie liczby obiektów produkcji, ponieważ kilka maszyn, realizujących poszczególne operacje jest zastępowanych jedną wyspecjalizowaną.

Przeanalizowane zostaną główne sposoby, stosowane do podwyższenia uniwersalności urządzenia technologicznego (rys. 3.47).



Rys. 3.47. Kierunki podwyższenia uniwersalności maszyn technologicznych

Zastosowanie zamiennych organów roboczych maszyny pakującej umożliwia zastąpienie ich podczas zmiany ustawienia do wytwarzania innego produktu. Przykładem jest rozszerzenie uniwersalności maszyny do pakowania produktów sypkich w worki z tworzywa sztucznego.

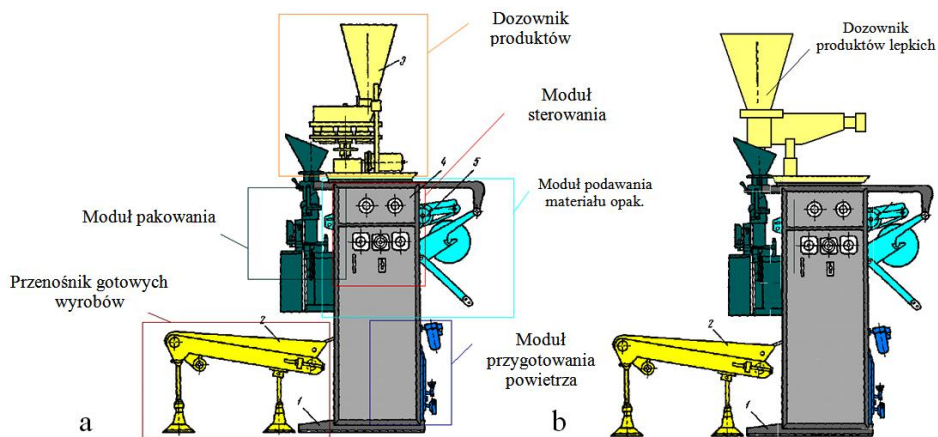
Wymieniając podajnik objętościowy do produktów sypkich na dozownik tłokowy można zastosować tę samą maszynę pakującą do różnych produktów.

Główną wadą tej metody jest czas demontażu kilku modułów funkcjonalnych i wstawienia w ich miejsce innych.

Wprowadzenie dodatkowych organów roboczych do konstrukcji maszyny do pakowania. W trakcie procesu pracują tylko te organy robocze, które są niezbędne do wytwarzania konkretnego typu wyrobów, natomiast pozostałe nie uczestniczą w pakowaniu tego typu produktu.

Przykładem tej metody jest automatyczna maszyna pakująca do lepkich produktów firmy TAURAS-FENIX, w której wokół stołu obrotowego są rozmieszczone trzy dozowniki – do głównego produktu (jogurt), do dodatkowych i ciał stałych (orzechy, czekolada w proszku). W zależności od struktury produktu, który jest pakowany, pracują jeden, dwa lub trzy dozowniki.

Zaletą tego sposobu, w porównaniu z poprzednim, jest praktycznie natychmiastowa zmiana ustawienia. Przełączanie na produkcji innego wyrobu odbywa się poprzez wybór odpowiedniego programu. Głównymi wadami tej metody są: wzrost kosztów, złożoności i wielkości urządzeń. Utrzymanie tych urządzeń jest o wiele bardziej skomplikowane.

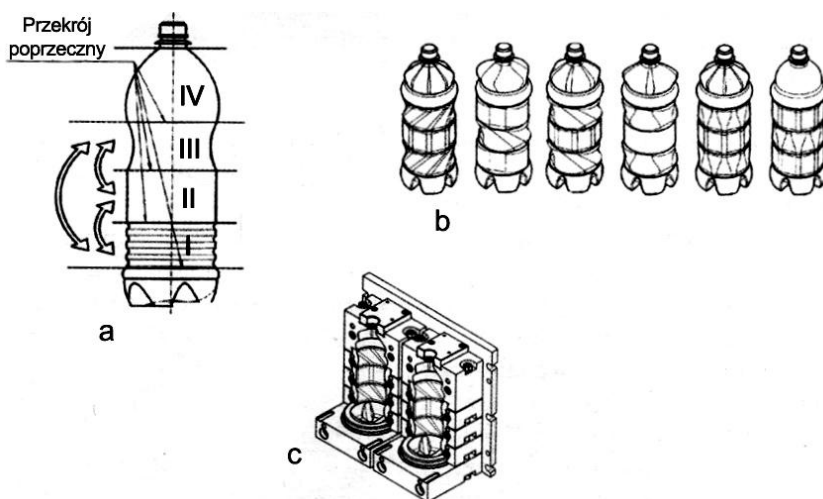


Rys. 3.48. Automatyczna maszyna pakująca:
a – produkty sypkie, b – produkty lepkie

Rozszerzenie zakresu regulacji organów roboczych nie wymaga ich wymiany. Przykładem takiego podejścia jest dozownik tłokowy do substancji lepkich. Zmiana wartości przemieszczenia tłoka zapewnia możliwość dozowania różnych wielkości porcji.

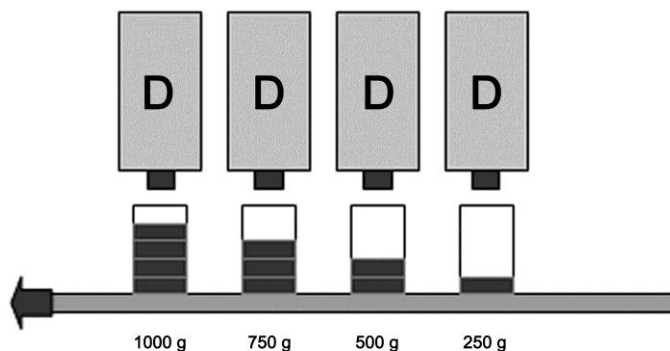
Rozdzielenie modułów funkcjonalnych na kilka i powiązania między nimi. Przykładem takiego podejścia jest forma wtryskowa automatu do wydmuchiwania PET butelek (rys. 3.49).

Wyrób jest dzielony na określoną liczbę elementów. W przypadku każdego elementu jest tworzona biblioteka opcji kształtu, a także są ustalane zasady tworzenia związków między elementami. [3.16, 3.12]. Kształt wyjściowy jest dzielony wzdłuż osi na 6 elementów. Dno i szyjka są stałymi elementami, jednakowymi w przypadku wszystkich typów butelek. Synteza różnych opcji butelek jest uzyskiwana w wyniku zmiany elementów pozostałych. Oczywiście, im więcej zostało wyodrębnionych elementów w strukturze obiektu, tym więcej jest możliwych opcji oraz powiązań między elementami, i tym wyższa jest uniwersalność obiektu technicznego.



Rys. 3.49. Forma wtryskowa do butelek PET

Zmiana struktury maszyny (sposobu wykonania operacji). Zmiana sposobu wykonania operacji technologicznych umożliwia zwiększenie asortymentu produkcji, wytwarzanego na urządzeniu. Można to zilustrować na przykładzie dozownika automatu do pakowania past do kubków polimerowych [3.12], który w celu zwiększenia uniwersalności maszyny jest rozdzielony na cztery sekcje D1–D4 (rys. 3.50).



Rys. 3.50. Dozownik czterosekcyjny

Każda sekcja dozująca może być włączona lub wyłączona. Jedna część dozownika dostarcza dawkę 250 g. Zależnie od zadania na pakowanie jedna, dwie, trzy lub cztery części dozownika działają w różnych sekwencjach, dając jedną lub kilka dawek produktu, odpowiednio: 250, 500, 750 lub 1000 g. Biorąc pod uwagę, że tę samą dawkę można uzyskać z różnych elementów i w różnej kolejności, to odpowiednie stany automatu do pakowania są określane zbiorem:

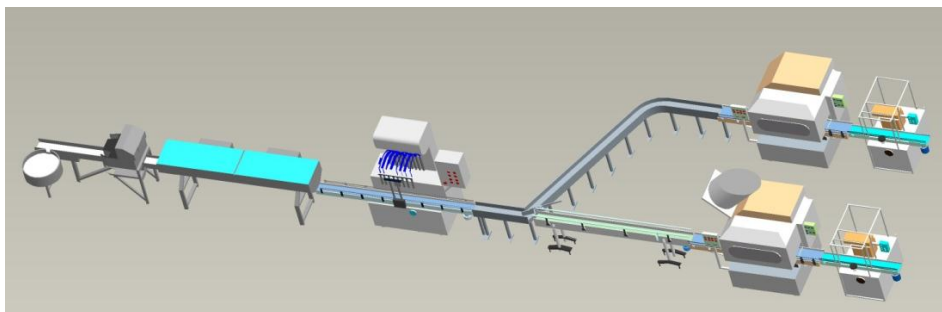
$$n = \{D1\}, \{D1, D2\}, \{D1, D3\}, \{D1, D4\}, \{D1, D2, D3\}, \{D1, D2, D4\}, \{D1, D3, D4\}, \{D1, D2, D3, D4\}$$

Zmiana kolejności pracy modułów funkcjonalnych. Zmieniając kolejność działania modułów można poszerzyć gamę wytwarzanych w ESPO wyrobów. Na przykład, kolejność napełniania opakowań różnymi składnikami można zmienić przedstawiając moduły funkcjonalne lub zmieniając kolejność dostarczania produktu.

Zastosowanie zmiennych marszrut technologicznych. ESP (rys. 3.51) pracuje w następujący sposób. Słoiki nowe są podawane do mechanizmu odbiorczego maszyny płukającej 1, a zatem są przemieszczane do maszyny dawkującej, wykonującej automatyczne dawkowanie gęstych płynów i lepkich produktów do butelek szklanych oraz PET, a także słoików [3.10]. Wydajność maszyny jest równa (zależnie od sposobu dawkowania) od 3000 do 6000 szt./godzinę.

Słoiki napełnione są przemieszczane do automatu korkującego, wykonującego automatyczne zakrywanie butelek i słoików pokrywkami typu twist-off oraz wytwarzającego próżnię przez podanie pary w chwili zakrywania. Zakorkowane pojemniki (butelki albo słoiki) są sprawdzane, a następnie przemieszczane do miejsca gromadzenia. Zgromadzone, napełnione i zakorkowane pojemniki, są ewentualnie poddawane pasteryzacji i odpowiednio znakowane (naklejanie etykiety, znakowanie, utworzenie opakowania grupowego).

Z opisu schematu strukturalnego widać, że na elastycznej zautomatyzowanej linii do pakowania mogą być realizowane zmienne marszruty: w zależności od rodzaju pokrywki może być zastosowana odpowiednia maszyna do korkowania, natomiast w zależności od rodzaju produkcji i opakowania może być (lub nie) zastosowana para.



Rys. 3.51. Linia elastyczna o zmiennych marszrutach

LITERATURA

- [3.1] А.с. 1428084, СССР, МКИ Н 01 С 17/00. Способ сборки переменных резисторов / Пальчевский Б.А. (СССР). №3988175/24-21; Заявлено 09.12.85; Опубл. 08.10.89, Бюл. № 38, 5 с.
- [3.2] А.с. 1697941 СССР, МКИ В 21 D 35/00, 37/08. Устройство для вырубке детали из ленты и ее сборки с другой деталью/ Пальчевский Б.А. (СССР). № 4763925/27; Заявлено 04.12.89; Опубл. 15.12.91, Бюл. № 46, 4 с.
- [3.3] Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В., Макачук В.В., Мысловский Э.В., Парфенов О.Д., Пирогова Е.В., Шахнов В.А., Шерстнев В.В., Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов. Издание второе, М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, 568 с.
- [3.4] Бушминский И.П. и др. Технологии приборостроения, М.: МГТУ, 679 с.
- [3.5] Доморацкий І.А., Павлиш В.А. Комплексна автоматизація виробництва РЕА (ідеї, моделі, проекти): навч. Посібник. К.: УМК ВО, 1992, 136 с.
- [3.6] Достанко А.П., Ланин В.П., Хмыль А.А., Ануфриев П.П., Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства, Мн.: Выш. шк., 2002, 416 с.
- [3.7] Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А.. Организация технологической подготовки производства в распределенной среде Изв. ВУЗОВ. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 6.
- [3.8] Яблочников Е.И.. Автоматизация технологической підготовки производства в приборостроении / Учебное пособие. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2002, 92 с.
- [3.9] Электронный ресурс <http://lib.rushkolnik.ru/text/33544/index-1.html>
- [3.10] Крестьянполь О.А. Тенденції розвитку гнучкого пакувального виробництва// Матеріали ІІІ науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія України», 19-21 травня 2009 р., м.Алушта. К.: 2009, s. 127–135.
- [3.11] Зыков О., IT News Промышленная автоматизация: движение от САПР к PLM. Электронный ресурс <http://citforum.ru/consulting/articles/plm/>

- [3.12] Пальчевський Б.О. Структурно-варіативний метод формування гнучкості технологічних систем // *Машинознавство*, 2004, № 10. s. 23–27.
- [3.13] *Размерный анализ конструкций* / Под ред. Бондаренко С. Г. К.: Вища школа, 1989, 150 s.
- [3.14] Пальчевський Б.О. Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва: Навчальний посібник. Львів: Світ, 1994, 208 s.
- [3.15] Пальчевський Б.О. Функціональний аналіз деталі машини // *Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні та приладобудуванні*: Укр. міжвід. науково-техн. зб. Львів: 1996. Вип.33, s.103–113.
- [3.16] Технологическая подготовка производства на базе PLM-решений. Электронный ресурс <http://lab18.ipu.ru/projects/conf2007/1/22.h>
- [3.17] Тимченко А.И. Новые конструкции пресс-форм для выдува ПЭТ-бутылок // *Тара и упаковка*, 2005. №1, 2.
- [3.18] Ясуо Оива. Проблемы автоматизации и пути их разрешения. // *Кикай оаккей*. 1984. - Т. 28, s. 36–40.
- [3.19] Charczenko A., Świć A., Taranenko W.: *Obrabiarki i urządzenia technologiczne w produkcji elastycznej*. Lublin: Politechnika Lubelska, 2011, 301 s.
- [3.20] Krestianpol E.. *Information software for design fltxible manufacturing systems* // *Технологічні комплекси*: Науковий журнал. Луцьк: Луцький НТУ, 2013, №2(8), s. 169–176.
- [3.21] Sobaszek Ł., Gola A., Świć A., *Analiza problemu Job-shop z uwzględnieniem zakłóceń procesu produkcyjnego*, [w:] R.Knosala (red.) *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014, s. 658–669.
- [3.22] Gola A., Sobaszek Ł., *Simulation of production flow using Matlab system*, [w:] J.Lipski, A.Świć, *Optimization of production processes*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2013, s. 64–74.
- [3.23] Skrzypczyński D., Gola A., *Ekonomiczne aspekty doboru robotów przemysłowych dla elastycznych systemów produkcyjnych* [w:] Krzysztofek A., *Zarządzanie i Marketing*, AT Wydawnictwo, Kraków 2014, s. 263–272.
- [3.24] Gola A., *Sterowanie przepływem produkcji w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych*, [w:] Szatkowski K. (red.): *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*, Wyd. PWN, Warszawa 2014, s. 406–440.
- [3.25] Gola A., Świć A., *Algorytm generowania ścieżek technologicznych w procesie doboru obrabiarek*, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, Nr 1 (2011), s. 8–16.
- [3.26] Banaszak Z., Bocewicz G., *Decision support driven models and algorithms of artificial intelligence*, *Warsaw University of Technology*, Warsaw 2011, 237 s.
- [3.27] Banaszak Z., *Modele i algorytmy sztucznej inteligencji*, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, 160 s.
- [3.28] Gola A., Świć A., *Brief preliminary design for a method of FMS machine tools subsystem selection*, *PAMM (2010) Vol. 9, Issue 1*, pp. 663–664.
- [3.29] Gola A., Korzan A., *Elementy komputerowo wspomaganego procesu sterowania produkcją z wykorzystaniem kart kanban* [w:] K.Bzdyra (red.), *Informatyczne systemy zarządzania*, Tom. 2., Wyd. Politechniki Koszalińskiej, 2011, s. 39–51.
- [3.30] Banaszak Z., Kłos S., Młeczko J., *Zintegrowane systemy zarządzania*, PWE, Warszawa 2011, 286 s.
- [3.31] Matuszek J., *Logistyka produkcji*, Wyd. Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Angelusa Silesiusa, Wałbrzych 2012, 96 s.
- [3.32] Skrzypczyński D., Stamirowski J., Gola A., *Algorytm doboru robotów dla podsystemu transportu i manipulacji w zautomatyzowanych elastycznych systemach wytwarzania* [w:] J.Lipski, A. Świć, A.Bojanowska, *Innowacyjne metody w inżynierii produkcji*, s. 50–63.

4. PROJEKTOWANIE STRUKTURALNE ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

4.1. Zasady projektowania strukturalnego elastycznych systemów produkcyjnych (ESP)

4.1.1. Kierunki projektowania ESP

Projektowanie strukturalne ESP jest złożonym kompleksowym problemem, rozwiązywanym przy zastosowaniu metod syntezy, modelowania, analizy, oceny, optymalizacji i doboru alternatywnych struktur ESP. Przy zastosowaniu metodologii podejścia systemowego do formalizacji tych procesów należy uwzględniać, że specyfika systemów złożonych (obiektów i procesów) jest określana nie tylko właściwościami jego elementów, lecz także charakterem związków i zależności między nimi [4.1–4.3]. Podejście systemowe do projektowania ESP łączy opracowanie uogólnionej trasy technologicznej, wybór i uzasadnienie zestawu maszyn technologicznych do jej realizacji, związki materiałowe, informacyjne i energetyczne między nimi, analizę wpływu otoczenia zewnętrznego [4.5].

Na tym etapie projektowania ma miejsce połączenie elementów procesu technologicznego określonego poziomu hierarchii (operacje technologiczne i pomocnicze lub podprocesy) z elementem strukturalnym odpowiedniego poziomu hierarchii (agregatem, maszyną, systemem maszyn). ESP jako obiekt projektowania strukturalnego ma wiele właściwości, do których trzeba odnieść [4.4]:

- dużą liczbę komponentów strukturalnych i związków między nimi,
- wielofunkcyjność uzyskiwaną kosztem zmniejszenia możliwości adaptacji ESP do produkcji różnych wyrobów i różnych warunków produkcyjnych,
- stochastyczny charakter współdziałania podsystemów i elementów strukturalnych ESP między sobą i otoczeniem.

Duża wymiarowość zadania przy syntezie ESP czyni uzasadnionym zastosowanie podejścia hierarchicznego, przy którym jest syntezywany nie cały obiekt, a na każdym poziomie hierarchicznym określone modele jego podsystemów, których poziom uszczegółowienia odpowiada przyjętemu sposobowi dekompozycji systemu na podsystemy. Przy projektowaniu ESP założono, że model procesu jest nieprzerwanie rozbudowywany (uszczegółowiany), począwszy od modelu abstrakcyjnego na poziomie początkowym i kończąc na poziomie, na którym jest uzyskiwany projekt roboczy [4.3]. ESP jak obiekt projektowania zawiera trzy podsystemy: technologiczny, transportowo-magazynowy i sterowania. Podsystem technologiczny ESP jako główny obiekt projektowania, składa się z zestawu maszyn technologicznych. Każda z tych maszyn, zależnie od złożoności operacji może różnić się liczbą pozycji roboczych, poziomem uniwersalności i automatyzacji oraz wydajnością i złożonością naprawy.

Podsystem transportowo-magazynowy zawiera środki techniczne do automatycznego załadunku i przemieszczania półfabrykatów, automatycznego usuwania wyrobów gotowych oraz ich gromadzenia i magazynowania.

Projektowanie ESP, którego złożoność stale ulega zwiększeniu jest procesem skomplikowanym. Technologia projektowania ESP charakteryzuje się dużym czasem „reakcji na błąd”: wiele błędów jest wykrywanych w trakcie prób i eksploatacji ESP. W tych warunkach błędy, popełnione na początkowych etapach projektowania ESP, powodują konieczność ciągłego dopracowywania systemu oraz generują dodatkowe koszty ponoszone w trakcie eksploatacji ESP.

Większość nowych opracowań konstrukcyjnych powstaje przez połączenie wcześniej nie stosowanych komponentów, których sposób wykonania i funkcjonowania jest znany. Jest to technologia syntezy strukturalnej. W jej podstawie leży poszukiwanie wariantów zbioru końcowego, zawierającego możliwe połączenie komponentów projektowanego obiektu. Zastosowanie dodatkowych procedur określania hierarchii między komponentami umożliwia powiększenie elementów struktury ESP do poziomu bloków komponentów i przeprowadzenie syntezy na bardziej wysokim poziomie hierarchicznym. W przypadku ESP są to maszyny i podsystemy maszyn technologicznych.

Stałe skracanie terminów budowy ESP może być osiągnięte w wyniku automatyzacji procesu projektowania ESP. Technologie projektowania automatyczne i zautomatyzowane wyróżniają się tym, że do zebrania, przechowywania, obróbki i przesyłania danych są stosowane metody i środki techniki obliczeniowej. W tym celu szerokie zastosowanie znajdują komputery, przy aktywnym uczestnictwie użytkowników w procesie informacyjnym, szerokim stosowaniu oprogramowania ogólnego i specjalnego ułatwiającego opracowanie informacyjno-analityczne prac naukowo-inżynierskich.

Wdrożenie zautomatyzowanego, komputerowego projektowania ESP upraszcza rozwiązanie problemu wyboru najbardziej racjonalnych rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych, wyklucza subiektywizm przy podejmowaniu wielu ważnych decyzji, znacznie zwiększa dokładność obliczeń. Na podstawie analizy matematycznej, umożliwia wybór wariantów do realizacji oceny technicznych, technologicznych i ekonomicznych charakterystyk ESP, zwiększenia jakości dokumentacji konstrukcyjnej oraz istotnego skrócenia terminów projektowania. Sprzyja także pełniejszemu zastosowaniu wyrobów unifikowanych i standardowych komponentów ESP.

Zadanie główne budowy systemów zautomatyzowanego projektowania – to opracowanie technologii projektowania, umożliwiającej w ciągu całego procesu projektowania sterowanie zmianą charakterystyk obiektu projektowania tak, by w wyniku powstała konstrukcja nie wymagającego dopracowania. Podstawy teoretyczne optymalnego projektowania obiektów technicznych, czyli uzasadnione naukowo metody, umożliwiają, według określonych danych wejściowych, sformułowanie możliwych wariantów technicznych, przeprowadzenie ich analizy porównawczej i określenie wariantu optymalnego. Należy więc zastosować

metodę syntezy ESP, która umożliwi określenie wariantów technicznych jego struktury oraz wybór wariantu o określonym zestawie charakterystyk w przypadku analizowanych warunków pracy.

Przy projektowaniu z zastosowaniem systemów komputerowych stosuje się:

- algorytmy formalne, realizowane programowo bez udziału człowieka, na przykład algorytmy generowania wariantów rozwiązań technicznych z określonych elementów,
- algorytmy zautomatyzowanego projektowania, w których część procedur obróbki informacji jest realizowana przez system komputerowy, a część przez człowieka,
- niesformalizowane metody heurystyczne. Wiele metod opracowanych do stosowania bez udziału komputera z czasem ulegało formalizacji aż do utworzenia systemów zautomatyzowanych, na przykład analiza morfologiczna i synteza systemów, systemowa analiza funkcji obiektu technicznego itp.

Oprócz tego, światowe technologie projektowania przeszły już do nowej fazy – modelowania cyfrowego, w którym obiekt projektowania jest przedstawiony na ekranie w postaci 3-D i wirtualnie jest symulowane jego funkcjonowanie.

Ogólna kolejność procedur projektowania strukturalnego włącza [4.5]:

1. Procedurę wyboru według określonego kryterium najlepszego elementu podsystemu technologicznego ESP. Procedura przewiduje wybór maszyn technologicznych o wysokim poziomie automatyzacji i odpowiedniej uniwersalności.
2. Procedura syntezy zakładająca wprowadzenie między maszynami technologicznymi powiązań przestrzennych, czyli odpowiednie ich rozmieszczenie w obszarze ESP. Procedura syntezy przewiduje uzyskanie kilku wariantów zestawienia ESP i wybór najlepszego według określonych kryteriów.
3. Procedura wyboru pomocniczych elementów funkcjonalnych w celu zagwarantowania powiązań materiałowych między maszynami technologicznymi, opracowanie kilku wariantów zestawiania schematu transportowo-technologicznego i wybór najlepszego.
4. Opracowanie powiązań informacyjnych i energetycznych między podsystemami ESP.
5. Budowa modeli 3-D ESP i opracowanie na ich podstawie dokumentacji roboczej.

4.1.2. Kryteria oceny ESP

Połączenie najlepszych elementów strukturalnych nie zawsze umożliwia utworzenie optymalnej struktury i systemu ESP. W wielu przypadkach należy wyodrębnić poszczególne urządzenia techniczne, przeanalizować powiązania funkcjonalne między nimi (materiałowe, energetyczne i informacyjne), dopiero potem wybrać z otrzymanego zbioru struktur wariant optymalny do określonych zastosowań.

ESP może mieć różną budowę hierarchiczną, składać się w ogólnym przypadku z wielu elementów strukturalnych o różnym poziomie hierarchicznym. Przy budowie systemu z kilku komponentów strukturalnych można określić liczbę decyzji alternatywnych. W celu ograniczenia niejednoznaczności decyzji, powinny być obiektywne kryteria wyboru optymalnej. Przy budowie ESP jest bardzo istotny wybór odpowiednich kryteriów oceny efektywności. System wskaźników, charakteryzujących ESP, powinien pokazywać jego przydatność do realizacji jakościowych wyrobów w zaplanowanej ilości przy określonym koszcie produkcji i obsługi [4.5, 4.30].

Ze względu na charakter opisu efektywności wskaźniki te można podzielić na ekonomiczne i techniczne:

- wskaźniki ekonomiczne są określane czynnikami ekonomicznymi, do których zalicza się: cenę ESP, poziom wydatków na obsługę techniczną i remont, koszt własny zrealizowanej produkcji i tym podobne.
- wskaźniki techniczne [4.6] są miarą doskonałości i postępowości ESP. Charakteryzują jakość, określaną wskaźnikami poziomu technicznego. Poziom techniczny ESP – to względna charakterystyka jego jakości, która bazuje na zestawieniu wartości wskaźników, co charakteryzuje doskonałość techniczną z odpowiednimi wartościami bazowymi [4.6]. Wskaźniki te opisują takie charakterystyki ESP jak: funkcjonalność, przydatność eksploatacyjną, poziom unifikacji i standaryzacji, bezpieczeństwo, poziom automatyzacji, bezpieczeństwo patentowo-prawne.

4.1.2.1. Ekonomiczne wskaźniki efektywności

Przedstawiają efekt ekonomiczny uzyskany w wyniku utworzenia ESP, który może być określony jako:

- podwyższenie jakości wyrobów (stabilność ich charakterystyk, zmniejszenie rozrzutu parametrów),
- podwyższenie wydajności produkcji,
- zmniejszenie liczby pracowników realizujących prace główne i pomocnicze.

Ekonomiczne wskaźniki efektywności charakteryzują nakłady kapitałowe na budowę ESP, koszty jego eksploatacji itp. Charakterystyczną właściwością wskaźników ekonomicznych jest możliwość utworzenia charakterystyk uogólniających, ponieważ różne właściwości ESP są określone w jednej jednostce pieniężnej. Należą do nich:

- koszty kapitałowe utworzenia i eksploatacji ESP,
- koszty eksploatacyjne,
- koszty na jednostkę produkcji.

Koszty kapitałowe pozyskania sprzętu technologicznego. W przypadku współczesnej produkcji przemysłowej charakterystyczna jest tendencja do wzrostu złożoności i wymiarów sprzętu technologicznego, a więc także kosztów. Wzrasta również indywidualizacja urządzeń, co prowadzi do zwiększenia ilości modeli. W związku z tym, jest istotny problem racjonalnego doboru oraz współdziałania technologicznego mechanizmów i urządzeń stosowanych do budowy sprzętu technologicznego, które będą mogły realizować, z określoną wydajnością, wymagany zakres zabiegów technologicznych tak, aby koszt budowy maszyny był minimalny. W tym przypadku wskaźnikiem efektywności jest koszt urządzenia w przypadku każdego wariantu sprzętu technologicznego [4.25]. Do oceny charakterystyk efektywności ekonomicznej wariantów struktury wprowadzono następujące oznaczenia: A_{ijk} – koszt k_j konstrukcji maszyny do wykonania ij jednostki produkcji-operacji (JPO) na j -ym miejscu pracy; $A_{j,j+1}$ – koszt utworzenia związku funkcjonalnego przejścia od j -go do $(j + 1)$ miejsca pracy; C_{ijk} – koszty, poniesione na wykonanie ij -ej JPO na j -ym miejscu pracy przy wyborze k -go typu maszyny technologicznej.

Wykorzystując wprowadzone oznaczenia, można zapisać zależności matematyczne umożliwiające wyznaczenie charakterystyk różnych wariantów struktury ESP.

Koszty kapitałowe A zawierają koszt podsystemu technologicznego i transportowo-magazynowego ESP, czyli koszt maszyn technologicznych oraz środków technicznych do utworzenia powiązań funkcjonalnych między nimi:

$$A = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k_j=1}^{m_j} A_{ijk} x_{ijk} + \sum_{j=1}^M A_{j,j+1} x_{j,j+1} \quad (4.1)$$

Koszty eksploatacyjne C to koszty na realizację operacji technologicznych na stanowiskach roboczych oraz naprawy urządzeń ESP:

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k_j=1}^{m_j} C_{ijk} x_{ijk} \quad (4.2)$$

Koszt własny produkcji. Koszt własny wyrobu jest określany z zależności:

$$c = M + (\beta + \delta) \cdot P_{jp} \cdot S_p + \frac{\alpha \cdot A}{N_p} \cdot a, \quad (4.3)$$

gdzie: S_p – minutowe wynagrodzenie pracownika,

M – koszt materiałów wejściowych,

P_{jp} – pracochłonność jednostki produkcji, min.

β – koszty ogólne zawierające także koszty remontów bieżących urządzenia,

$\delta = 1,15$ – współczynnik opłaty z pochodnymi,

α – współczynnik amortyzacji, uwzględniający roczny koszt eksploatacji urządzenia, w przypadku systemów technologicznych kompleksów pracujących na dwie zmiany $\alpha = 0,12$,

A – bilansowy koszt urządzenia,

a – liczba maszyn równoległych na jednej operacji,

N_p – roczny program produkcyjny.

Przy rozliczeniu kosztu własnego produkcji, realizowanej według różnych wariantów, należy uwzględniać tylko te składniki kosztów, które ulegają zmianie w analizowanych wariantach ESP.

W przypadku ESP o podobnych możliwościach technologicznych nie należy uwzględniać kosztów wydziałowych i ogólnozakładowych. Jeżeli wprowadzenie nowego sprzętu technologicznego nie wymaga zmiany charakteru półfabrykatów oraz metod technologicznych, to koszty materiałów na jednostkę wyrobu nie ulegają zmianie, a więc można ich nie rozpatrywać, a określić tylko koszt technologiczny (koszt własny wyrobu, obróbki, montażu, pakowania i tym podobne).

Koszt własny i -tej operacji można określić z zależności:

$$c_i = 1,15 \cdot P_{jpi} \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i}{N_p} \cdot a_i, \quad (4.4)$$

a koszt własny M operacji:

$$c = \sum_{i=1}^M \left(1,15 \cdot P_{jpi} \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i}{N_p} \cdot a_i \right). \quad (4.5)$$

Pracochłonność na jednostkę produkcji na i -tej operacji jest określana jako:

$$P_{jpi} = \frac{T}{f \cdot K_G} \cdot a_i, \quad (4.6)$$

po uproszeniu:

$$P_{jpi} = T \cdot a_i, \quad (4.7)$$

gdzie: T – długość cyklu roboczego,

K_G – współczynnik gotowości jednostki urządzenia,

f – współczynnik obsługi kilku jednostek urządzenia.

Koszty spowodowane na jednostkę produkcji w przypadku ESP, powstają w wyniku realizacji M operacji technologicznych i są określane zgodnie z zależnością:

$$w = \sum_{i=1}^m c_i + E_H \sum_{i=1}^m \frac{a_i \cdot A_i}{N_G} \quad (4.8)$$

lub

$$w = \sum_{i=1}^M \left(1,15 \cdot P_{jpi} \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i}{N_p} \cdot a_i \right) + 0,15 \sum_{i=1}^M \frac{a_i \cdot A_i}{N_G}. \quad (4.9)$$

Można więc określić własny koszt produkcji:

$$w = \sum_{i=1}^m \left(1,15 \cdot T \cdot a_i \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i}{N_p} \cdot a_i \right) + 0,15 \sum_{i=1}^m \frac{a_i \cdot A_i}{N_G}. \quad (4.10)$$

Kryterium oceny doboru sprzętu technologicznego można więc przedstawić jako funkcję:

$$\sum_{i=1}^m \left(1,15 \cdot T \cdot a_i \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i}{N_p} \cdot a_i \right) + 0,15 \sum_{i=1}^m \frac{a_i \cdot A_i}{N_G} \Rightarrow \min. \quad (4.11)$$

Składowe zmienne przedstawionych powyżej wskaźników efektywności ekonomicznej muszą spełniać wiele warunków, co należy uwzględnić przy rozwiązaniu zadania. Jako wskaźnik efektywności ekonomicznej może być przyjęty jeden ze wskaźników, w tym przypadku pozostałe wskaźniki są traktowane jako ograniczenia.

Zastosowanie wskaźników ekonomicznych do oceny efektywności sprzętu technologicznego umożliwia jego całościową ocenę. Ma zastosowanie do oceny efektywności ESP, składającego się z mechanizmów, zespołów i pojedynczych maszyn, produkowanych seryjnie i mających konkretną cenę. Przy stosowaniu wskaźników ekonomicznych przy projektowaniu nowego sprzętu technologicznego występują pewne ograniczenia, a mianowicie:

- przy projektowaniu nowego ESP ocena kosztów jest niedokładna, błąd może być w zakresie od 200 do 500%. Zwłaszcza jest on duży na pierwszych etapach projektowania, kiedy są podejmowane najbardziej ważne decyzje (generujące koszty),
- nie ma jednoznacznego powiązania między wskaźnikami sprzętu technologicznego ESP i jego charakterystykami konstrukcyjnymi, co utrudnia możliwość celowego wyboru czy korekty konstrukcji, a więc nie występują sprzężenia zwrotne pomiędzy wskaźnikami i charakterystykami konstrukcyjnymi maszyn.

Ograniczenia ekonomicznych wskaźników efektywności powodują konieczność stosowania przy projektowaniu nowego sprzętu technologicznego nie tylko wskaźników efektywności ekonomicznej, ale także technicznych.

4.1.2.2. Techniczne wskaźniki efektywności

Maszyny technologiczne muszą umożliwić uzyskanie wymaganej jakości wyrobu, a więc najważniejszymi wskaźnikami eksploatacyjnymi, przydatnymi do określania jego jakości są:

- czas obróbki,
- dokładność i związana z nią niezawodność,
- wydajność,
- zużycie energii,
- pomocnicze wskaźniki efektywności.

Do oceny charakterystyk efektywności technicznej wariantów struktury wprowadzono oznaczenia: t_{ijk} – czas realizacji ij -ej JPO na j -tym miejscu pracy na k -tej maszynie technologicznej, $t_{prz, ijk}$ – czas przebrojenia do obróbki i -go wyrobu na j -tym miejscu pracy k -go typu urządzenia, n_i – partia obróbkowa i -go wyrobu, $t_{j, j+1}$ – czas przejścia od j -go do $(j+1)$ miejsca pracy, k_{jk} – współczynnik gotowości k -go rodzaju maszyny technologicznej, znajdującej się w j -tym miejscu

pracy; $k_{j,j+1}$ – współczynnik gotowości środka technicznego przy przejściu od j -go do $(j + 1)$ miejsca pracy; E_e – zużycie energii przez podsystem technologiczny i transportowo-magazynowy.

Ogólny czas wykonania i -go wyrobu na j -tym miejscu pracy na k -tym typie urządzenia można określić jako:

$$T_{jk_j} = \sum_{i=1}^N (t_{ijk_j} \cdot n_i + t_{prz,ijk}) \quad (4.12)$$

gdzie: n_i – liczba części w i -tej partii,

N – liczba wyrobów w asortymencie produkcji.

Wskaźnik niezawodności ESP. Niezawodność systemu można charakteryzować wskaźnikiem kompleksowym – współczynnikiem niezawodności K_n , określającym prawdopodobieństwo tego, że sprzęt technologiczny jest zdolny do pracy w dowolnym czasie, oprócz okresów planowych w trakcie, których nie jest przewidywana jego praca. Jest on zbliżony do współczynnika wykorzystania sprzętu technicznego, uwzględniającego oprócz czasu potrzebnego na zidentyfikowanie i usunięcie awarii również czas niezbędny na działania podejmowane w celu przeciwdziałania awariom.

$$K_n = \frac{m_t}{m_t + m_p}, \quad (4.13)$$

gdzie: m_t – średni czas pracy do wystąpienia awarii,

m_p – średni czas przywrócenia zdolności do pracy odpowiednio maszyny technologicznej lub ESP.

Przy uwzględnieniu, że w warunkach rzeczywistych funkcjonowania maszyn technologicznych $m_t \gg m_p$, w praktyce można tylko wyznaczać współczynnik niezawodności, uwzględniający tylko koszty przywrócenia zdolności do pracy, czyli można założyć, że $\eta_T \approx K_n$.

Niezawodność ESP można charakteryzować współczynnikiem niezawodności K_n . W celu formalizacji zadania wprowadzono zmienne: $x_{jk}=1$ – jeżeli na j -tym miejscu pracy znajduje się k -ty rodzaj urządzenia, $x_{jk}=0$ – w przeciwnym przypadku. Niezawodność ESP jest, więc równa:

$$\left(\frac{K_p}{K_n} \right)_{ESP} = \sum_{j=1}^M \frac{k_{pk}}{k_{nk}} x_{j,k} + \sum_{j=1}^M \frac{k_{pj,j+1}}{k_{nj,j+1}} \quad (4.14)$$

gdzie: K_p, K_n – odpowiednio współczynniki przestoju i niezawodności ESP, przy czym $K_p = 1 - K_n$;
 k_{pk}, k_{nk} – współczynniki przestoju i niezawodności k -go typu maszyny technologicznej na j -tym miejscu pracy;
 $k_{pj, j+1}, k_{nj, j+1}$ – współczynniki przestoju i niezawodności przy przejściu od j -tym do $(j+1)$ stanowiska roboczego.

Wydajność. Ze względu na to, że w praktyce wartość współczynnika obciążenia technicznego η_t jest bliska wartości współczynnika niezawodności sprzętu technologicznego K_n , to wydajność może być określona z zależności:

$$Q \approx \frac{1}{T} \cdot K_n \approx Q_c \cdot K_n. \quad (4.15)$$

Zużycie energii przez podsystemy ESP: technologiczny i transportowo-magazynowy można zapisać, jako:

$$E = \sum_{j,k} E_{j,k} x_{j,k} + \sum_{j,j+1} E_{j,j+1} \quad (4.16)$$

4.1.2.3. Pomocnicze wskaźniki efektywności ESP

Wskaźniki efektywności technicznej docelowo można zastosować na pośrednich etapach projektowania ESP w celu zmniejszenia liczby wariantów pośrednich rozwiązań technicznych. W praktycznych przypadkach najczęściej znajdują zastosowanie wskaźniki standaryzacji i unifikacji, które można zapisać:

$$K_{st} = \frac{N_{stm}}{N}, \quad K_u = \frac{N_u}{N}, \quad (4.17)$$

gdzie: K_{st} – współczynnik standaryzacji,
 K_u – współczynnik unifikacji,
 N_{st}, K_u, N – liczba komponentów strukturalnych ESP odpowiednio standaryzowanych, unifikowanych i ogólna.

4.1.2.4. Kompleksowe wskaźniki efektywności

Jednym z głównych problemów występujących przy zastosowaniu współczesnych metod projektowania jest konieczność oceny liczbowej i porównania utworzonych wariantów ESP. Zastosowanie odpowiedniego

kryterium oceny powinno umożliwić przy optymalizacji określenie najlepszego wariantu opracowanego ESP. Przy rozwiązaniu prostych zadań optymalizacji trzeba zastosować jedno kryterium optymalizacji. Najistotniejsza charakterystyka ESP może być przyjęta jak kryterium efektywności, a inne uwzględnia się przez wprowadzenie odpowiednich ograniczeń.

Problemy rzeczywiste są z reguły zadaniami wielokryterialnymi. W celu uproszczenia zadania wielokryterialnego można go sprowadzić do jednokryterialnego w wyniku:

- określenia kryterium głównego, umożliwiającego określenie optymalnego (racjonalnego) wariant konstrukcji, przy sprowadzeniu pozostałych kryteriów do roli ograniczeń,
- zastosowania wskaźników kompleksowych, zawierających pełne wskaźniki konstrukcji z uwzględnieniem ich ważności. Ważność każdego wskaźnika można uwzględniać poprzez przypisanie im odpowiednich pomocą wag.

4.2. Optymalizacja podziału operacji technologicznych pomiędzy maszyny technologiczne ESP

Opis funkcjonalny stanowi bazę do kształtowania struktury technicznej ESP. Projektowanie struktury ESP zawiera wybór sprzętu, przydział operacji grupowych uogólnionej trasy do miejsc roboczych, określenie wielkości partii oraz sposobu wykonania operacji na stanowiskach roboczych. Otrzymane struktury ESP różnią się liczbą i rodzajami urządzeń technologicznych, ich rozmieszczeniem, poziomem koncentracji operacji oraz ich przypisaniem do maszyn technologicznych itp. Każdy wariant struktury ESP różni się kosztem, wydajnością, niezawodnością itp. [4.36, 4.38]. Celem projektowania ESP jest poszukiwanie racjonalnego wariantu realizacji operacji grupowych według uogólnionej trasy oraz na jego podstawie synteza optymalnej struktury ESP. Te dwa zadania są między sobą powiązane [4.7].

Zsyntetyzowany ESP jest optymalny, jeśli osiąga się maksimum (minimum) wskaźnika efektywności, co odzwierciedla główne właściwości systemu z punktu widzenia realizacji postawionych zadań.

Przy zestawianiu ESP, wskutek możliwości zastosowania różnych typów urządzeń technologicznych, różnych wariantów przydziału operacji do stanowisk roboczych oraz zmienności innych charakterystyk, jest możliwe utworzenie wielu wariantów struktury systemu. Przy projektowaniu istotny jest, więc wybór jednego z dopuszczalnych wariantów struktury ESP. Rozwiązanie tego zadania jest właśnie syntezą struktury ESP.

Przy określaniu struktury należy przydzielić N operacji grupowych, przedstawionych jako zbiór $B = \{b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_N\}$, wytwarzania wyrobów określonego asortymentu, między M miejsc roboczych określonych zbiorem,

$PM = \{PM_1, PM_2, \dots, PM_i, \dots, PM_M\}$, uzyskanym na podstawie grupowego procesu technologicznego. W przypadku każdego stanowiska roboczego należy określić rodzaj urządzenia technologicznego k_j , umożliwiające uzyskanie wyższej efektywności ESP.

Jeśli oznaczyć operację wykonywaną nad i -tym wyrobem na j -tym stanowisku pracy jak φ_{ij} , to ESP powinien realizować następującą liczbę JPO [4.8]:

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \varphi_{ij} \quad (4.18)$$

JPO wygodnie jest zapisać w postaci macierzy (tab. 4.1), w rzędach, w których są zapisane wyroby określonego asortymentu, a w kolumnach – stanowiska robocze ESP. W przypadku, kiedy i -ta operacja obróbki części (JPO) jest wykonywana na j -tym stanowisku pracy to φ_{ij} przyjmuje wartość 1, w przeciwnym przypadku – 0. Suma jedynek w każdej kolumnie Δ_i wskazuje liczbę operacji obróbki i -tego wyrobu, czyli:

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^M \varphi_{ij} \quad (4.19)$$

a suma jedynek w każdym rzędzie Δ_j jest równa liczbie operacji na jednym stanowisku roboczym, czyli:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^N \varphi_{ij} \quad (4.21)$$

Macierz umożliwia wyznaczenie takich wskaźników ESP jak:

- współczynnik uniwersalności stanowiska roboczego K_u

$$K_u = \frac{\Delta_j}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_{ij} \quad (4.22)$$

- współczynnik trudności trasy technologicznej K_m

$$K_m = \frac{\Delta_i}{M} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \varphi_{ij} \quad (4.23)$$

Tab. 4.1. Macierz wyrobów i stanowisk roboczych

Stanowisko robocze	Asortyment wyrobów						Δ_j
	B ₁	B ₂	...	B _i	...	B _N	
PM ₁	1	1	...	0	...	1	$\Delta_j = \sum_{i=1}^N \varphi_{i1}$
PM ₂	1	0	...	1	...	0	$\Delta_j = \sum_{i=1}^N \varphi_{i2}$
...
PM _j	0	1	...	0	...	1	$\Delta_j = \sum_{i=1}^N \varphi_{ij}$
...
PM _M	1	1	...	1	...	0	$\Delta_j = \sum_{i=1}^N \varphi_{iM}$
Δ_i	$\sum_{j=1}^M \varphi_{1j}$	$\sum_{j=1}^M \varphi_{2j}$...	$\sum_{j=1}^M \varphi_{ij}$...	$\sum_{j=1}^M \varphi_{Nj}$	Δ_Σ

Ponieważ na stanowiskach roboczych mogą znajdować się maszyny technologiczne o różnych możliwościach technologicznych i charakterystykach technicznych (wydajność, niezawodność, uniwersalność, cena itp.) to struktura ESP określana jest również przez rodzaje i liczbę maszyn technologicznych, rozmieszczonych na pozycjach roboczych. Wybór liczby i rodzaju maszyn technologicznych do realizacji grupowych operacji technologicznych na stanowiskach roboczych ESP jest więc zadaniem optymalizacyjnym: na *j*-tym stanowisku roboczym ESP może być umieszczona jedna z *k_j* rodzajów maszyn technologicznych, czyli:

$$Q_j = \{q_{j1}, q_{j2}, \dots, q_{jk_j}, \dots, q_{jm_j}\} \quad (4.24)$$

Ogólną liczbę typów maszyn technologicznych, uwzględnianych przy syntezie ESP można określić, jako:

$$Q = \sum_{j=1}^M Q_j = \sum_{j=1}^M \sum_{k_j=1}^{m_j} q_{jk_j} \quad (4.25)$$

Podzbiór poziomu pierwszego rozbicia jest formułowany tak, aby była możliwość realizacji grupowych operacji technologicznych uogólnionej trasy na różnych stanowiskach roboczych (tab. 4.2). Zbiór sprzętu technologicznego jest, więc rozdzielany na podzbiory do realizacji każdej z grupowych operacji technologicznych na odpowiednim stanowisku roboczym, czyli:

$$\{Q\} = \langle \{Q_1\}, \{Q_2\}, \dots, \{Q_j\}, \dots \rangle$$

Pierwsza grupowa operacja technologiczna jest realizowana na jednym z typów sprzętu technologicznego podzbioru $\{Q_1\}$, druga grupowa operacja technologiczna – na sprzęcie z podzbioru $\{Q_2\}$, a pozostałe grupowe operacje technologiczne na maszynach technologicznych z odpowiednich podzbiorów.

Tab. 4.2. Macierz operacji i sprzętu technologicznego

Typ sprzętu technologicznego	Operacje (JPO) realizowane na PM_j						Δ_{jk}
	φ_{1j}	φ_{2j}	...	φ_{ij}	...	φ_{Nj}	
q_{j1}	1	1	...	0	...	1	$\Delta_{j1} = \sum_{i=1}^N x_{ij1}$
q_{j2}	1	0	...	1	...	0	$\Delta_{j2} = \sum_{i=1}^N x_{ij2}$
...
q_{jk}	0	1	...	0	...	1	$\Delta_{jk} = \sum_{i=1}^N x_{ijk}$
...
q_{jm}	1	1	...	1	...	0	$\Delta_{jm} = \sum_{i=1}^N x_{ijm}$

W przypadku każdego z podzbiorów należy oszacować funkcję celu i ograniczenia. Każdy z wariantów struktury ESP różni się chociażby jednym typem maszyn technologicznych w którymś z podzbiorów.

Do przyspieszenia procesu poszukiwania są stosowane dodatkowe, możliwe podejścia, co umożliwi uwzględnienie specyfiki zadania i pozwala wykluczyć zbiory wariantów w sposób oczywisty nieodpowiednie, na przykład poprzez wprowadzenie dodatkowych ograniczeń. W celu sformalizowania zapisu zadania wprowadzono zmienne: $x_{ijk} = 1$ – jeśli ij -tą operację (JPO) można zrealizować na k -tym rodzaju urządzenia, $x_{ijk} = 0$ – w przeciwnym przypadku.

Macierz umożliwia wyciągnięcie wniosku, który typ sprzętu technologicznego jest najodpowiedniejszy do wykonania operacji grupowej na j -tym miejscu pracy ESP. Macierz taka jest budowana w przypadku każdego stanowiska roboczego. Należy w odpowiedni sposób określać poziom uniwersalności sprzętu technologicznego, ponieważ nadmierna uniwersalność może być przyczyną dużych strat czasu przy przejściu do realizacji kolejnej operacji.

Dokładniejszy wybór sprzętu technologicznego wymaga wyznaczenia czasu wykonania ij -tej operacji na j -tym stanowisku pracy na k -tym typie urządzenia z uwzględnieniem straty czasu na nastawianie urządzenia:

$$T_{ijk} = t_{ijk} \left(1 + \frac{t_{nast,ijk}}{n_i} \right) \quad (4.26)$$

gdzie: t_{ijk} – czas obróbki i -go wyrobu na j -tym miejscu pracy k -tym typie urządzenia,

$t_{nast,ijk}$ – czas nastawienia przy obróbce i -go wyrobu na j -tym stanowisku pracy na k -tym typie urządzenia,

n_i – partia obróbki i -go wyrobu.

Macierz czasów wykonania wyrobów na każdym stanowisku roboczym ESP będzie przyjmowała postać pokazaną w tab. 4.3.

Pracę na j -tym stanowisku roboczym k -tym typem urządzenia grupy operacji można określić jako:

$$\Phi_{jk} = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^N (t_{ijk} \cdot n_i + t_{nast,ijk}) \quad (4.27)$$

a współczynnik obciążenia urządzenia na tym roboczym miejscu jako:

$$K_{ob,j} = \frac{\Phi_{jk}}{\Phi_{ef}} \quad (4.28)$$

gdzie: Φ_{ef} – efektywny fundusz czasu realizacji wyrobu, godz.,

N – liczba wyrobów według programu produkcyjnego.

Tab. 4.3. Macierz czasów wykonania wyrobów

Typ technologicznego sprzętu	Operacje (<i>JPO</i>) wykonywane na PM_j						Δ_{jk}
	φ_{1j}	φ_{2j}	...	φ_{ij}	...	φ_{Nj}	
q_{1l}	t_{11l}	t_{21l}	...	t_{i1l}	...	t_{N1l}	Φ_{1l}
q_{12}	t_{112}	t_{212}	...	t_{i12}	...	t_{N12}	Φ_{12}
...
q_{jk}	t_{1jk}	t_{2jk}	...	T_{ijk}	...	t_{Njk}	Φ_{jk}
...
q_{jm}	t_{1jm}	t_{2jm}	...	t_{ijm}	...	t_{Njm}	Φ_{jm}

Ponieważ normatywna wartość współczynnika wykorzystania urządzenia zakłada $K_n \approx 0,7$, to liczba urządzeń tego samego typu do wykonania ij -tej operacji

grupowej na j -tym miejscu roboczym na k -tym typie urządzenia może być obliczona jako:

$$N_{qjk} = \frac{\Phi_{jk}}{0,7 \cdot \Phi_{ef}} \quad (4.29)$$

Wybor typu urządzenia technologicznego ESP do realizacji zadania można sformułować następująco. Niech są zadane grupowe operacje technologiczne, realizowane na M stanowiskach roboczych (miejscach pracy) ESP ($j = 1, 2, \dots, M$), określonych zbiorem maszyn technologicznych ESP do realizacji każdej z nich $\{Q_j; j=1, 2 \dots m_j\}$. Zbiór wyrobów $\{i\}$ przedstawiony w postaci zbioru $\{ij\}$ operacji, jest wykonywany w ESP na j stanowiskach roboczych. Każde stanowisko robocze jest określane podzbiorem urządzeń technologicznych $\{Q_j\} = q_{j1}, q_{j2}, \dots, q_{jk}, \dots$ jako obiektów o jednakowym przeznaczeniu funkcjonalnym, które można zastosować do utworzenia ESP i jego podsystemów. Każdy ijk obiekt można przestawić jako zbiór charakterystyk $\{Y\}$. Znane są wymagania odnośnie każdej charakterystyki obiektu. Należy wybrać w taki sposób rodzaje maszyn technologicznych ESP do realizacji grupowych operacji technologicznych na stanowiskach roboczych, aby osiągnąć maksymalną efektywność ESP przy zachowaniu wymaganych ograniczeń, czyli z każdego podzbioru ESP wybrać urządzenie najlepiej spełniające określone wymagania.

Niech C_{ijk} oznacza koszty realizacji ij -tej operacji na k -ej maszynie technologicznej, t_{jk} – czas realizacji operacji na j -m miejscu roboczym na k -ej maszynie technologicznej przy wykonywaniu i -go wyrobu.

Wprowadza się dodatkową zmienną x_{ijk} :

$$x_{ijk} \begin{cases} 1 - \text{jeśli } i\text{-ty wyrób jest obrabiany na } j\text{-tym miejscu} \\ \text{roboczym na } k\text{-ej maszynie technologicznej} \\ 0 - \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Optymalizacja wyboru modułów ESP może być przeprowadzona według jednej z następujących docelowych funkcji:

$$\min_{x_{ijk}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k_j=1}^{m_j} C_{ijk} x_{ijk} , \quad (4.30)$$

$$\min_{x_{ijk}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k_j=1}^{m_j} t_{ijk} x_{ijk} . \quad (4.31)$$

Pierwsza funkcja minimalizuje koszty ESP, druga – ogólny czas realizacji operacji technologicznych w ESP, czyli cykl technologiczny. Przy czym mogą być uwzględniane następujące ograniczenia:

- powiązania między operacjami na miejscu roboczym,
- powiązania między maszynami technologicznymi,
- ograniczenie długości cyklu technologicznego T_t (ogólnego czasu realizacji operacji technologicznych):

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{K_j} t_{ijk} x_{ijk} \leq [T_t], \quad (4.32)$$

- ograniczenie kosztów ogólnych realizacji funkcji ESP:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{K_j} C_{ijk} x_{ijk} \leq [C]. \quad (4.33)$$

4.3. Projektowanie struktury obróbki mechanicznej ESP

4.3.1. Analiza produkcji i opracowanie elastycznego systemu obróbki tokarskiej

Przed budową ESP przeanalizowano obróbkę tokarską 42 części o rocznym sumarycznym programie produkcyjnym równym 424 tys. sztuk. Części te są elementami elektroniki, wytwarzanej z czystej miedzi i jej stopów (anody itp.). Montowane są w środku balonu, z którego zostało wypompowane powietrze lub stosowane do utworzenia połączenia: szkło–metal, ceramika–metal. Z funkcjonalnego punktu widzenia nie można stosować metod obróbki, które sprzyjają powstawaniu pęcherzy powietrznych w warstwie powierzchniowej metalu lub zanieczyszczeń. Specyfika zastosowania części powoduje, że są one trudne do obróbki, ponieważ posiadają dużą liczbę powierzchni dokładnych oraz są mało wytrzymałe. Czynniki te komplikują automatyzację obróbki mechanicznej. Materiał stosowany na takie części to praktycznie miedź elektrolityczna, co generuje dodatkowe wymagania odnośnie wskaźników powierzchni obrobionych i operacji transportowo-manipulacyjnych (możliwość uszkodzenia), a także wymaga rozwiązania problemu efektywnego rozdrabniania wiórów miedzianych przy automatycznej obróbce tokarskiej.

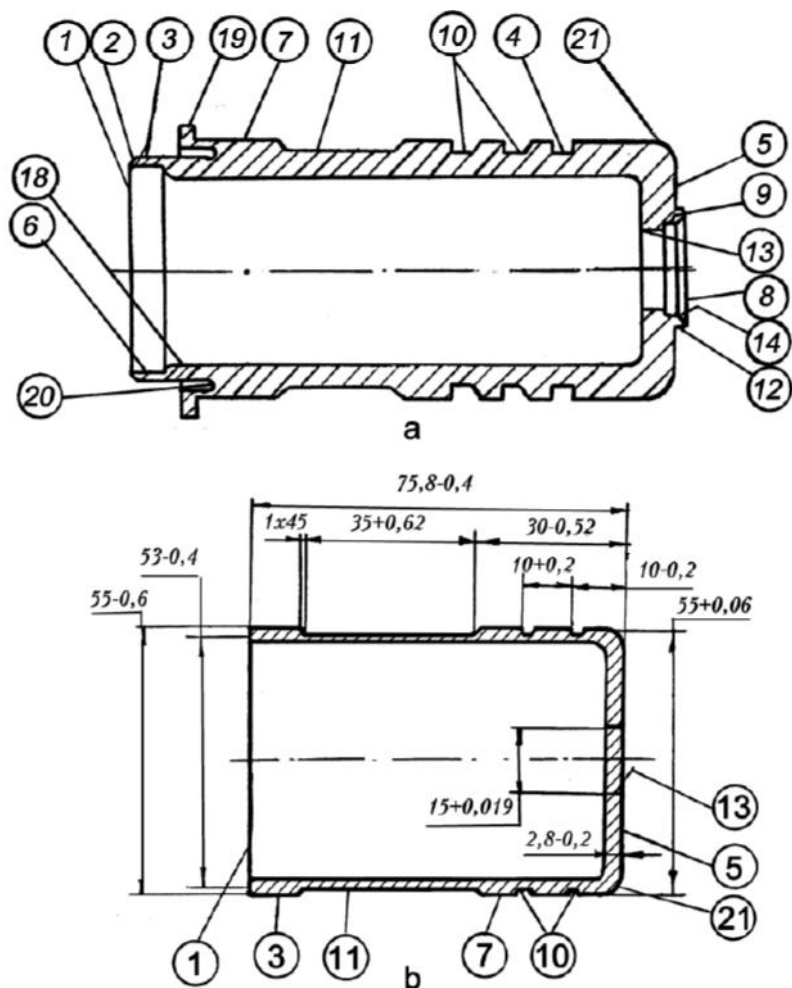
Dokonano analizy wybranych właściwości konstrukcyjnych części przeznaczonych do obróbki w warunkach ESP. Grupowanie części spełniało zadanie w warunkach obróbki na obrabiarkach CNC. Wyodrębniono pięć grup części.

Do każdej grupy części dobrano obrabiarkę CNC, z którą współpracuje robot przemysłowy wykonujący prace załadunkowo-wyładowcze.

Oprzysiężowanie do automatycznego załadunku-rozładunku robota zaprojektowano tak, aby można go zastosować do wszystkich części grupy, czyli do załadunku części kompleksowej.

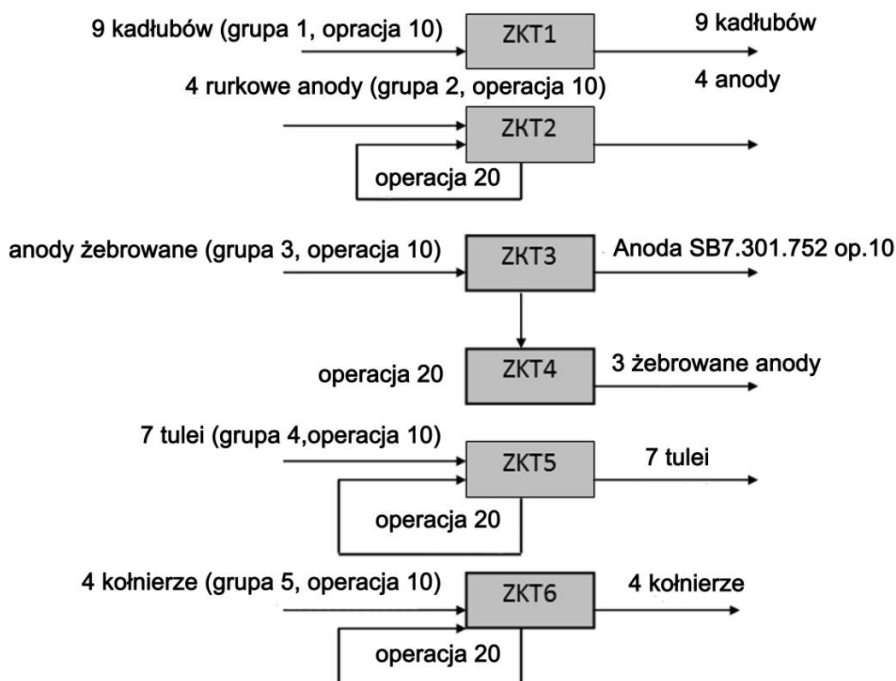
Jako przykład, można przedstawić części pierwszej grupy, które umownie nazwano „anody typu szklanka”. Półfabrykaty tych części mają kształt szklanki z otworem w dnie. Otrzymywane są metodą wykrawania na zimno z miedzianej taśmy. Obróbka mechaniczna jest wykonywana po obróbce cieplnej. Część kompleksowa należąca do pierwszej grupy jest przedstawiona na rys.4.1. Nożami 5 są obrabiane powierzchnie od 1 do 19. W pozycji szóstej znajduje się specjalny nóż do obróbki rowka osiowego 19 jednej z anod. Proces technologiczny każdej z części pierwszej grupy składa się z trzech–czterech operacji tokarskich. W pierwszej operacji jest obrabiane czoło części 1 (rys. 4.1), które później jest wykorzystywane, jako baza technologiczna. Główna obróbka jest wykonywana w trakcie operacji drugiej na tokarce CNC. Części są bazowane na otworze wewnętrznym i czole 1. W operacji trzeciej w większości części powtórnie jest obrabiana 1 w celu uzyskania jego prostopadłości do obrobionej powierzchni zewnętrznej. W operacji czwartej na tokarce uniwersalnej są wykonywane trudne ze względów technologicznych powierzchnie – 6 o małej grubości ścianki (0,6–0,11 mm) i wybranie 20. Wadą przedstawionego grupowego procesu technologicznego jest niska koncentracja obróbki. Ponowna obróbka czoła 1 spowodowana jest nieudaną konstrukcją oprawki, która naciska przy obróbce na część powierzchni czołowej 1.

Analiza istniejących procesów technologicznych dla obróbki 28 rodzajów części pokazała nieefektywność stosowanej technologii. Chociaż przy obróbce części, przewidzianych do automatycznej obróbki tokarskiej, w tradycyjnej produkcji stosowano technologią grupową, to jednak opracowane procesy technologiczne okazały się mocno zróżnicowanymi (występowało średnio 4, 5 i więcej operacji tokarskich). W wyniku takiej dyferencjacji obróbki powstawały rozgałęzione wieloasortymentowe strumienie zapasów przy transportowaniu, których między poszczególnymi obrabiarkami powstaje wiele sprzężeń, co wyklucza automatyzację wytwarzania tych części na podstawie istniejących technologii.



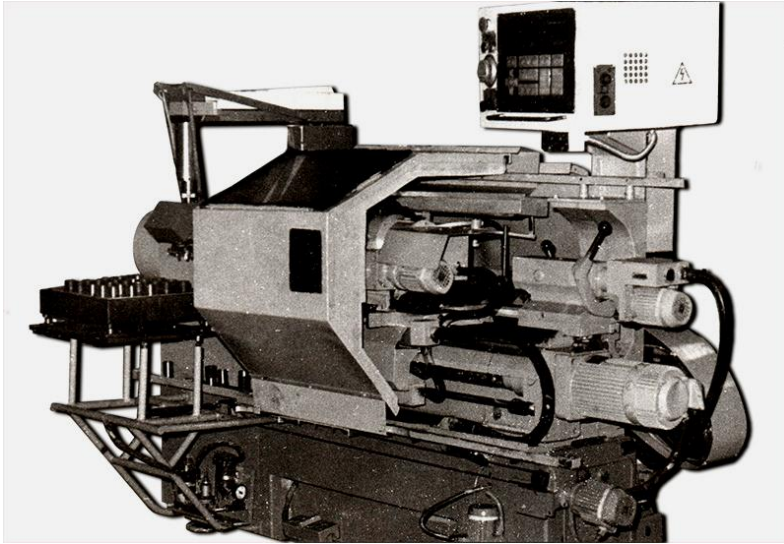
**Rys. 4.1. Część kompleksowa (model grupy): anoda (a),
typowy przedstawiciel grupy (b)**

Opracowano proces technologiczny obróbki 28 części o sumarycznym rocznym programie produkcyjnym równym 270500 sztuk, z których zestawiono 5 grup, a mianowicie: anody – szklanki (9 części), anody rurkowe (4 części), anody z żebrami (4 części), tuleje (7 części), kołnierze (4 części). Operacje są wykonywane w 6 zrobotyzowanych kompleksach technologicznych (ZKT), w których robót obsługuje jedną obrabiarkę (rys.4.2).



Rys. 4.2. Technologiczny schemat ESP obróbki tokarskiej

Do zapewnienia warunków racjonalnego załadunku urządzenia i zmniejszenia międzyoperacyjnych przemieszczeń części opracowano proces technologiczny obróbki pięciu grup części umożliwiające uzyskanie maksymalnej koncentracji obróbki i przypisanie do każdej obrabiarki CNC operacji, umożliwiających jej racjonalne wykorzystanie. Przy każdej obrabiarce CNC znajduje się robot przemysłowy umożliwiające jej załadunek. Umożliwiło to utworzenie odpowiedniej liczby ZKT, dostosowanych do obróbki określonych operacji. ESP był budowany w oparciu o uniwersalne techniczne środki automatyzacji – tokarki CNC 16B16T1 i roboty przemysłowe „Elektronika NC-TM-01” (rys. 4.3).

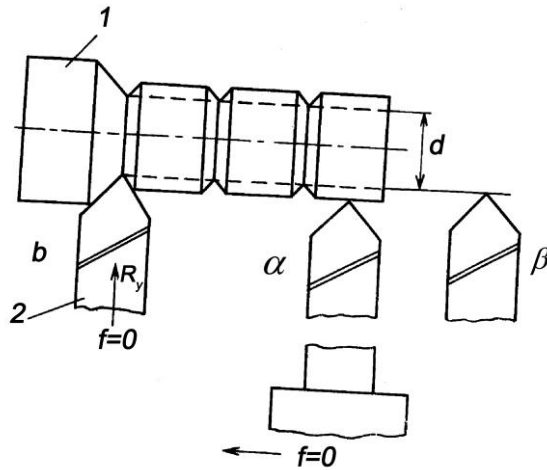


Rys. 4.3. ZKT obróbki tokarskiej

Przy najwyższej koncentracji przejść technologicznych do pełnej obróbki tokarskiej 5 grup części należy wykonać dziewięć grup operacji – części należące do grupy pierwszej są obrabiane w jednej operacji, a pozostałe – w dwóch. W celu zmniejszenia strat wydajności w wyniku przezbrajania ZKT zostały one dostosowane do obróbki odpowiednich grup części. Czas przezbrajania ZKT zależy więc od poziomu specjalizacji systemu.

Przy automatyzacji operacji tokarskich powstaje problem rozdrobnienia wiórów miedzianych, a zwłaszcza przy roztaczaniu otworów. Wysokie wymagania do roztoczonego otworu uniemożliwiają zastosowanie znanego sposobu rozdrobnienia, polegającego na zastosowaniu przerywanego posuwu na obrabiarkę z CNC przy roztaczaniu zgrubnym, ponieważ po zatrzymaniu posuwu zostają ślady na obrobionej powierzchni.

W celu podwyższenia niezawodności technologicznej podsystemu był opracowany sposób obróbki tokarskiej na obrabiarkę CNC z rozdrobnieniem wiórów na przejściach zgrubnych i wykańczających [4.9]. W tym sposobie obróbka powierzchni 1 jest wykonywana nożem 2 w dwóch przejściach (rys.4.4). Przy wykonywaniu pierwszego przejścia (położenie „a” noża) na obrobionej powierzchni powstaje system rowków, w wyniku przerywania przez układ CNC posuwu wzdłużnego obrabiarki spowodowanego działaniem sił promieniowych przemieszczenia narzędzia (położenie „b” noża). Przy drugim, przejściu wykańczającym o stałym posuwie (położenie „c” noża), zwiększa się głębokość skrawania tak, aby uzyskać wymaganą średnicę części. Odpowiednia odległość między rowkami, ukształtowanymi przy pierwszym przejściu z posuwem przerywanym, umożliwia przy toczeniu wykańczającym rozdrabnianie wióra.



Rys. 4.4. Sposób rozdrobnienia wiórów na tokarce CNC

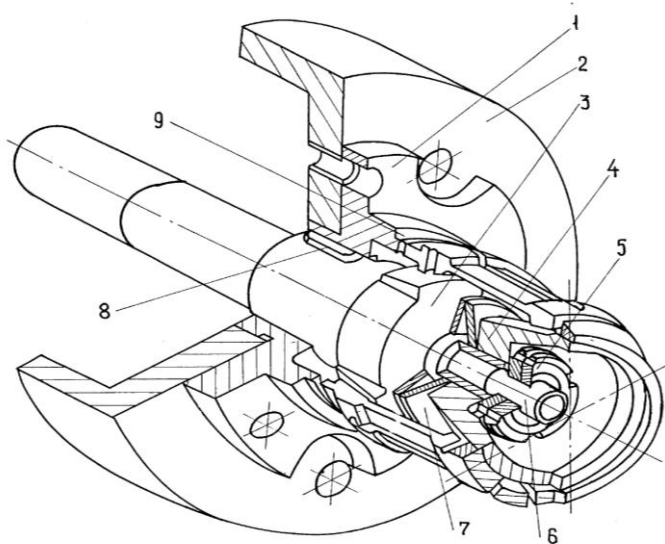
W celu uzyskania wystarczającego rozdrobnienia wiórów przy przejściu wykańczającym, skok k przerywania posuwu przy przejściu zgrubnym należy określić z zależności:

$$k = \frac{L_{dop} \cdot f_2}{\pi \cdot d \cdot K_{kw}}, \quad (4.34)$$

gdzie: f_2 – posuw przy przejściu wykańczającym w mm/obrót,
 d – średnica obrabianej powierzchni,
 L_{dop} – dopuszczalna długość wiórów przy przejściu wykańczającym,
 K_{kw} – współczynnik kurczenia się wióra.

Rozdrobnione wióry z rurkowej anody są wydmuchiwane powietrzem. Do obróbki powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych wystarczą sześć narzędzi (oprócz noży do rowków o szerokościach: 1,2 mm i 1,5 mm, które zamiennie mogą być wstawiane do jednego gniazda głowicy rewolwerowej).

Do zwiększenia niezawodności podsystemu transportowego należało zwiększyć prawdopodobieństwo niezawodnego mocowania części w zaciskowym uchwycie, czyli zapewnić jej prawidłowe położenie w systemie współrzędnych obrabiarki. Głównym problemem przy zacisku jest ruch osiowy detalu (rys. 4.5). Opracowany został specjalny uchwyt, umożliwiający dokładne osiowe położenie części na tokarce CNC [4.10].



Rys. 4.5. Uchwyt samoosiujący: 1 – oprawka, 2 – korpus, 3 – element, 4 – tuleja, 5 – nakrętka, 6 – trzpień, 7 – sprężyna, 8 – klin wzdlużny, 9 – oparcie

Uchwyt (rys. 4.5) składa się z elementu 3, którego występy wchodzą w kontakt z lewą powierzchnią oprawki 1. Przy ruchu trzpienia 6 w lewo element 3 naciska na lewą powierzchnię oprawki 1 i rozsuwa jej płatki, zaciskając przy tym lewą część elementu obrabianego. Jednocześnie porusza się tuleja 4, co powoduje zmniejszenie luzu pomiędzy nią, a występami prawej powierzchni. Po zaciśnięciu lewej części element 3 zatrzymuje się, a trzpień w dalszym ciągu przemieszcza się w lewo, przesuwając tuleję 4, która zaciska sprężyny 7 aż do pełnego zamocowania prawej części obrabianego elementu. Położenie osiowe części, przy jej zacisku w uchwycie, nie ulega zmianie.

Do bazowania części typu szklanka z otworem w dnie opracowano kasetę (rys. 4.6, 4.7b), której elementem bazującym jest ruchomy sworzeń 4 z głowicą centrującą. Część 7 jest centrowana, w kierunku promieniowym, przez stożek głowicy, sworzeń 4 i jest posadowiony powierzchnią dolną na powierzchni osiowej elementu bazującego 3, co umożliwi realizację bazowania części w kierunku osiowym. W celu zmniejszenia kosztów przezbrajania magazynu kasetowego – pojemnika do grupy części typu szklanka opracowano specjalną kasetę do bazowania części po wewnętrznym stożku ruchomym [4.11].

Kaseta znajduje zastosowanie w przypadku części pierwszej grupy (rys. 4.1), nie wymaga dodatkowego czasu na jej przezbrajanie.

W tym celu opracowano i zastosowano specjalne konstrukcje kaseto ruchomych elementów bazujących, w których części ulegają centrowaniu pod wpływem własnej wagi [4.12]. Kasety, stosowane do gromadzenia części w ZKT, w ogólnym wypadku składają się z: korpusu 1, dna regulowanego 2 i separatora 3,

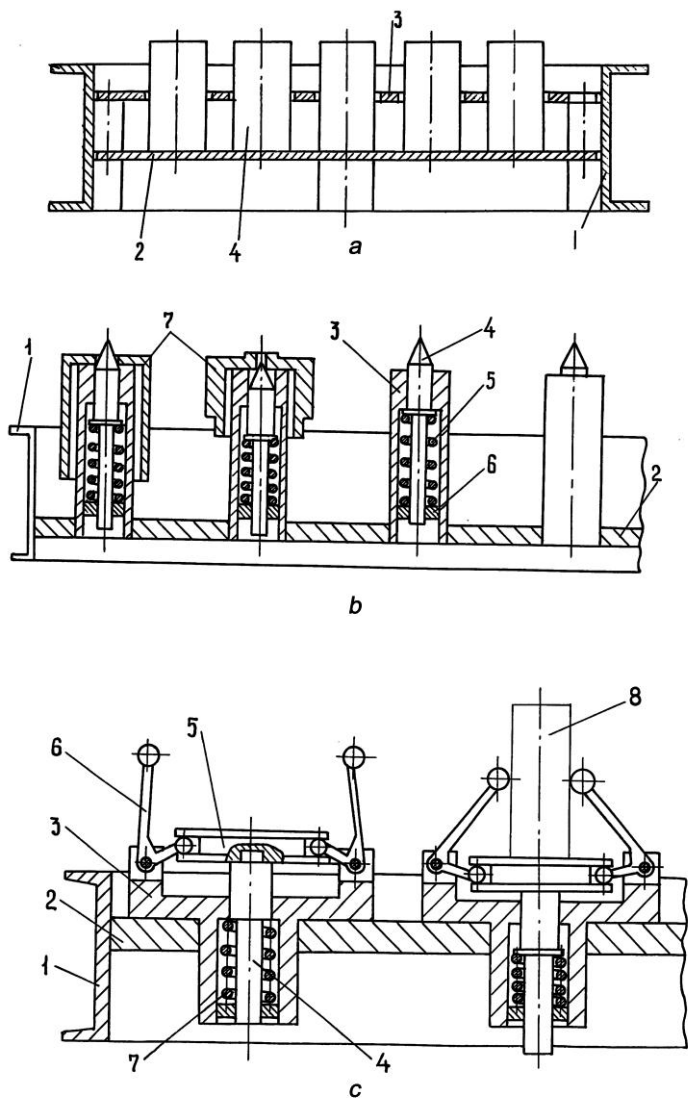
umożliwiającego rozmieszczenie wyrobów w sposób uporządkowany o określonym skoku (rys. 4.7 a). W przypadku takich kaset jest charakterystyczne niskie prawdopodobieństwo załadunku obrobionej części w wyniku dużego rozrzutu położenia uchwytu z częścią względem odbierającego elementu kasety. Do podwyższenia prawdopodobieństwa udanego załadunku części zmodyfikowano konstrukcję elementów odbierających [4.13].



Rys. 4.6. Uniwersalna kasetka do bazowania części w ZKT tokarskim

Podczas bazowania części po powierzchni zewnętrznej (rys. 4.7 c) w przypadku innej grupy części opracowano zmieniony odbierający element kasety ZKT [4.14]. Kasetka zawiera elementy bazujące w postaci dźwigni ruchomych 6, związanych z powierzchnią 5, na której jest ustalana część 8. Pod wpływem ciężaru części powierzchnia opuszcza się, a dźwignie centrują część odnośnie centrum powierzchni. W wyniku dużego przemieszczenia dźwigni 6 polepszają się warunki sprzęgnięcia części z elementem odbiorczym kasety.

Metody aktywne zwiększenia prawdopodobieństwa skutecznego załadunku części bazują, jak już wspomniano, na ponownym wykonaniu sprzęgnięcia po sprawdzeniu wyniku wykonania poprzedniego. Zasadę trzykrotnego powtórzenia sprzęgnięcia założono do systemu sterowania robotem przemysłowym, na przykład robota „Elektronika NC-TM-01”. Ponowna realizacja sprzęgnięcia może mieć miejsce przy tych samych warunkach, przy których uprzednio nie udało się go zrealizować. Wykorzystuje się prawdopodobieństwo, że nie dojdzie do powtórzenia takich samych błędów elementarnych, można także zastosować korektę wzajemnego położenia elementu odbiorczego i części.

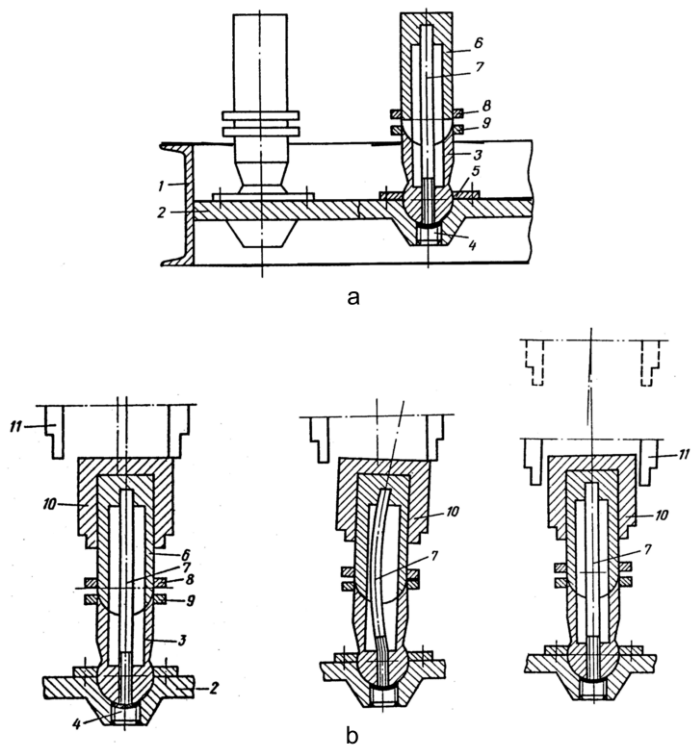


Rys. 4.7. Kasetta uniwersalna (a) i jej modyfikacje, zwiększające prawdopodobieństwo załadunku części do kasety (b, c) w przypadku różnych ZKT

Podwyższenie prawdopodobieństwa udanego połączenia części z elementem odbiorczym kasety uzyskano podczas stosowania kaset z aktywnymi elementami odbiorczymi, zmieniającymi położenie w kierunku zmniejszania błędu położenia części. Opracowano wariant systemu aktywnego korygowania błędu położenia

elementu odbiorczego i części [4.15] (rys.4.8), bazującego na zastosowaniu ponownego ruchu sprzęgania. Część 10 (rys. 4.8 a) jest osadzona na sworzniu 6 kasety. Przy niepokrywaniu się osi uchwyty 11 z osią części, uchwyt opiera się o czoło części (rys. 4.8 b).

Sworzień 6 i podpora 3 o dolnym zakończeniu kulistym są powiązane pomiędzy sobą elementem sprężystym 7, przemieszczającym w przeciwną stronę do kierunku kontaktu opór klinowych 8 i 9 ustalonych, z możliwością regulacji, na sworzniu 6 i oporze 3. Przy powrocie uchwyty 11 bez części w górę, element sprężysty 7 ulega wyprostowaniu, a sworzień 6 obraca się względem opory 3 w kierunku osi uchwyty, zmniejszając błąd położenia elementu i części (rys. 4.8).



Rys. 4.8. Element odbiorczy kasety z systemem korygowania połączenia podczas załadunku części

4.3.2. Automatyzacja procedury grupowania operacji do obróbki w ESP

Technologiczne przygotowanie grupowej produkcji przewiduje zgrupowanie operacji i opracowanie procesów przezbrajania każdego ZKT w składzie ESP. Grupowanie jest wykonywane przy założeniu najmniejszych kosztów przezbrajania urządzenia. Liczba operacji na każdej tokarce jest określana na poziomie, dostatecznym do jej rocznego obciążenia.

Struktura ESP składa się z połączenia niezbędnej liczby tokarek CNC oraz obsługujących je robotów załadunkowych, tworzących niezależne pracujące zrobotyzowane kompleksy technologiczne – ZKT [4.39]. Zestawione w taki sposób ESP umożliwią niezależną pracę każdego ZKT.

Przeprowadzono optymalizację ESP obróbki tokarskiej części miedzianych przyrządów elektronicznych w warunkach wieloasortymentowej produkcji seryjnej.

Wyznaczając pozycję roboczą ESP, specjalnie do wykonania określonej grupy operacji ZKT, z warunku uzyskania najwyższej koncentracji obróbki tokarskiej otrzymuje się strukturę ESP w postaci niezależnych technologicznie ZKT. Każdy ZKT jest dostosowywany do realizacji określonej grupy operacji odpowiednio do jego możliwości i wydajności, a zatem jest przeprowadzana analiza i optymalizacja warunków przezbrajania ZKT.

Opracowano algorytm grupowania części do wspólnej obróbki [4.16], uwzględniający koszty przezbrajania podsystemów ZKT: technologicznego i transportowego (rys. 4.9).

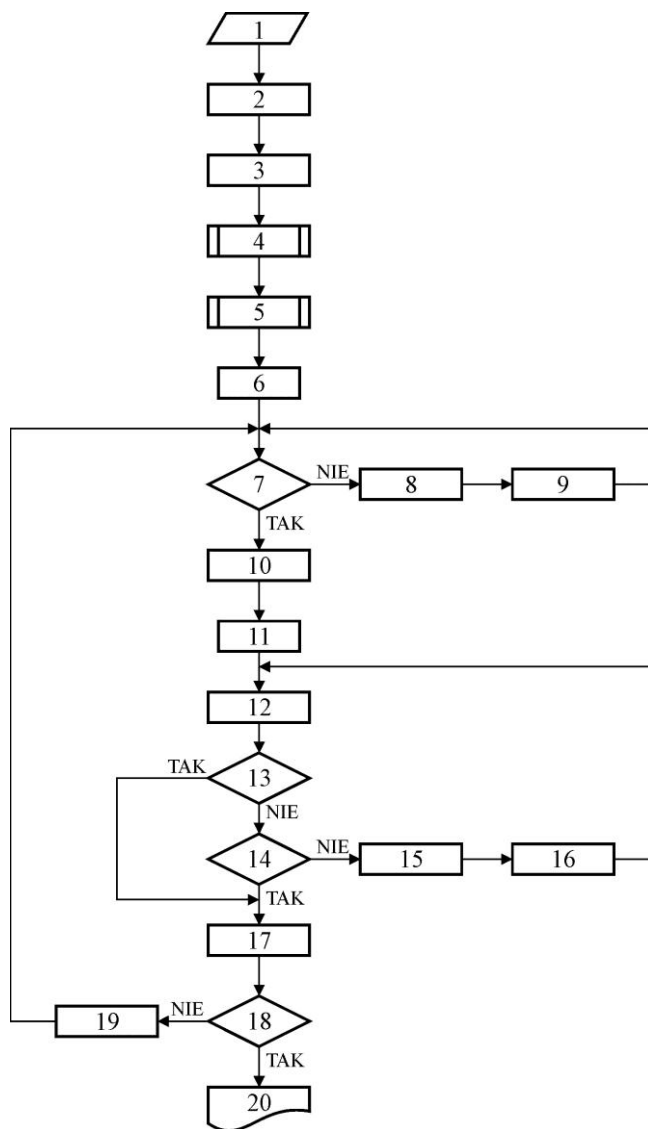
Dane wejściowe do projektowania (blok 1) są przedstawione w postaci macierzy kosztów $M[t_0]$ b_i -tych operacji (i -ta operacja obróbki b -tej części).

Następnie (rys. 4.9) jest formowana macierz przezbrojeń $M[t_{prz}]$ (blok 2), a zatem są wyodrębniane grupy operacji, nie wymagające przezbrojeń (blok 3), w przypadku których $t_{prz_i} = 0$. Wydzieliwszy grupę części niewymagających przezbrojeń, przyporządkowuje się jej (blok 4) numer porządkowy $g=1$.

$$A_{ig} = t_{big} \cdot N_{ir} + t_{prz big} \cdot \frac{N_{ir}}{p_{ig}}, \quad (4.35)$$

gdzie: t_{big} – koszty wykonania b_i -tych operacji g -tej grupy części,

N_{ig}, p_{ig} – roczny program produkcyjny i wielkość partii rozruchu i -tej części r -tej grupy.



Rys. 4.9. Algorytm grupowania części do optymalizacji ZKT

Pozostałe operacje, które nie weszły do grup, są porządkowane (blok 5) zgodnie z rosnącą wartością $t_{prz.b.}$. W przypadku ZKT obróbki tokarskiej adaptacja do wykonania nowego wyrobu polega na nastawieniu zestawu narzędzi, uchwytu obrabiarki, uchwytu manipulatora robota, kasetowego zasobnika półfabrykatów, urządzenia pomiarowego. W tym przypadku czas przebrojenia można określić jako:

$$t_{prz,i} = \alpha \cdot t_{pr} + \eta \cdot t_n + t_{uo} + \beta \cdot t_{ur} + \gamma \cdot t_{zk} + \lambda \cdot t_{kon}, \quad (4.36)$$

gdzie: η – liczba narzędzi, wymienianych przy przezbrajaniu;

$\alpha, \beta, \gamma, \lambda$ – współczynniki logiczne równe: 0 przy braku odpowiedniego przezbrojenia, 1 w przeciwnym przypadku.

Ponieważ przy różnej kolejności realizacji operacji są nastawiane tylko niektóre elementy ZKT, to ogólne warunki przezbrojeń przypadku różnych operacji mogą być zapisane w postaci macierzy:

$$M_{prz} = t_n \cdot M_n + t_{pr} \cdot M_{pr} + t_{uo} + t_{ur} \cdot M_{ur} + t_{zk} \cdot M_{zk} + t_{kon} \cdot M_{kon}, \quad (4.37)$$

gdzie: M_n – macierz w komórkach, w których wskazano liczbę narzędzi nastawianych,

$M_{pr}, M_{ur}, M_{zk}, M_{kon}$ – macierze w komórkach, których wpisuje się 1, jeśli dany element ZKT jest przezbrajany lub 0 – jeżeli nie jest przezbrajany.

W macierzach wiersze i kolumny odpowiadają numerom odpowiednich operacji, a więc macierz przezbrojeń można przedstawić w postaci:

$$M_{prz} = t_{pr} \cdot \begin{vmatrix} 0 & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 0 & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & 0 \end{vmatrix} + t_{in} \cdot \begin{vmatrix} 0 & \eta_{12} & \dots & \eta_{1n} \\ \eta_{21} & 0 & \dots & \eta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \eta_{n1} & \eta_{n2} & \dots & 0 \end{vmatrix} + t_{uo} + t_{ur} \cdot \begin{vmatrix} 0 & \beta_{12} & \dots & \beta_{1n} \\ \beta_{21} & 0 & \dots & \beta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{n1} & \beta_{n2} & \dots & 0 \end{vmatrix} + t_{zk} \cdot \begin{vmatrix} 0 & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & 0 & \dots & \gamma_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & 0 \end{vmatrix} + t_{kon} \cdot \begin{vmatrix} 0 & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & 0 & \dots & \lambda_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \dots & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & T_{12} & \dots & T_{1n} \\ T_{21} & 0 & \dots & T_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{n1} & T_{n2} & \dots & 0 \end{vmatrix}. \quad (4.38)$$

W celu analizy kosztów przezbrajania podsystemu technologicznego ZKT określono uniwersalność narzędzi, niezbędnych do obróbki części, ponieważ przy obróbce tokarskiej komplet powierzchni może być obrobiony różnymi narzędziami. Do obróbki są w pierwszej kolejności wybierane narzędzia uniwersalne, którymi można obrobić większą liczbę różnych powierzchni.

Dobór narzędzi do obróbki grupy części był przeprowadzany zgodnie z opracowaną procedurą [4.16]:

1. Wybierana jest jedna część z grupy i wyznaczany komplet narzędzi N1 do jej obróbki.
2. Wybierana jest następna część grupy i określany komplet narzędzi N2 do jej obróbki.
3. Kompletory są porównywane i jest określana ich różnica jako zbiór $\Delta N2 = N2/N1$, która jest zestawem wszystkich narzędzi kompletu N2, niewchodzących do zestawu N1 i bez których nie jest możliwa obróbka drugiej części grupy. Narzędzie ze zbioru N2 nie jest włączane do zbioru $\Delta N2$ w przypadkach, kiedy w obu kompletach są identyczne narzędzia, jedno z narzędzi jest bardziej uniwersalne (na przykład, z dwóch noży do roztaczania bardziej uniwersalny jest nóż o dłuższym wylocie, z dwóch noży do rowków – nóż o mniejszym wymiarze ostrza, z dwóch wiertel – wiertło o mniejszej średnicy i większej długości itp.).
4. Procedura analizy jest powtarzana zgodnie z punktami 2 i 3, w przypadku każdej następnej części grupy jest określany zbiór $\Delta N3, \Delta N4, \dots$.
5. Formowana jest grupa narzędzi jako zbiór:

$$N_{\Sigma} = N1 \cup \Delta N2 \cup \Delta N3 \cup \dots \quad (4.39)$$

Przy pojemności magazynu narzędziowego lub głowicy rewolwerowej równej A mogą powstać następujące sytuacje:

- $N_{\Sigma} = A$, w tym przypadku grupowe przebrojenie narzędziowe jest sformowane,
- $N_{\Sigma} < A$, wtedy należy docelowo wprowadzić narzędzia dublujące,
- $N_{\Sigma} > A$, wtedy część narzędzi jest zmieniana albo operacja grupowa jest dzielona na prostsze lub też jest zmniejszana liczba części w grupie.

Uzupełnienie grup, począwszy od pierwszej (blok 6), jest wykonywane w następujący sposób.

1. Przy spełnieniu warunku (blok 7):

$$\sum_{g=1}^{ng} A_{ig} \leq \Phi \cdot \eta, \quad (4.40)$$

gdzie: Φ – rzeczywisty roczny fundusz czasu ZKT,

η – normatywny współczynnik obciążenia urządzenia,

to, oprócz części, przy obróbce których nie trzeba przeobrażać ZKT, do składu g-tej grupy włącza się (bloki 15 i 16), operacje w trybie wzrostu wielkości $t_{prz\ big}$

(blok 11). Każda z rozpatrywanych operacji również jest włączana do składu g -tej grupy, jeśli obliczona, po jej włączeniu (blok 12), wartość współczynnika elastyczności G_{g2} jest nie mniejsza od wartości G_{g1} (blok 10) przed włączeniem tej operacji do grupy, czyli $G_{g2} \geq G_{g1}$ (blok 13). Przy włączeniu do g -tej grupy i -tej części musi być spełniony warunek (blok 14): $\sum_{ig=1}^{ng+1} A_{ig} \leq \Phi \cdot \eta$. Przy niewykonaniu tego warunku i -ta część nie może być włączona do grupy.

2. Jeżeli warunek $\sum_{ig=1}^{ng} A_{ig} > \Phi \cdot \eta$ jest spełniony to z g -tej grupy są wyłączone operacje do momentu spełnienia warunku określonego w bloku 7. Grupa g jest rozdzielona na dwie (blok 8) w taki sposób, aby jedna z nich była całkowicie ukształtowana, sformowana. Ogólna liczba grup wzrasta przy tym o jedną (blok 9).

3. Przeprowadzane jest sprawdzenie, czy kształtowanie grup operacji zostało zakończone – warunek $g = G$ (blok 18). Jeśli warunek nie jest spełniony to formowana jest następna grupa operacji (blok 19).

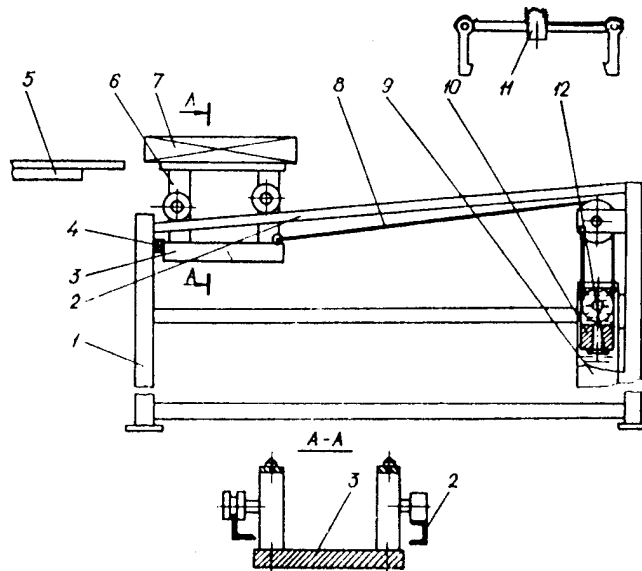
Wyniki formowania grup operacji są drukowane (blok 20).

4.3.3. Struktura ESP obróbki tokarskiej

ESP do automatyzacji obróbki analizowanych części składa się z sześciu ZKT, z których każdy jest zbudowany w oparciu o tokarkę CNC 16B16T1, robota „Elektronika NC-TM-01”, podającego i wyjmującego części z uchwytu obrabiarki oraz zbiornika kasetowego półfabrykatów (rys. 4.3).

Ponieważ każdy ZKT wchodzący w skład ESP jest modułem technologicznym to może pracować niezależnie. Proces obróbki sprowadza się do realizacji niezależnych operacji technologicznych na każdym ZKT. Ogólny schemat transportowo-technologiczny ESP obróbki tokarskiej 28 części przyrządów elektronicznych jest przedstawiony na rys. 4.2. Zgodnie ze schematem odbywa się przepływ wieloasortymentowych potoków części do sześciu ZKT. Rozszerzenie grupy części w oparciu o jedną kasetę, wymaga zastosowania kaset o specjalnej konstrukcji posiadających ruchome elementy bazujące (rys. 4.5) [4.15].

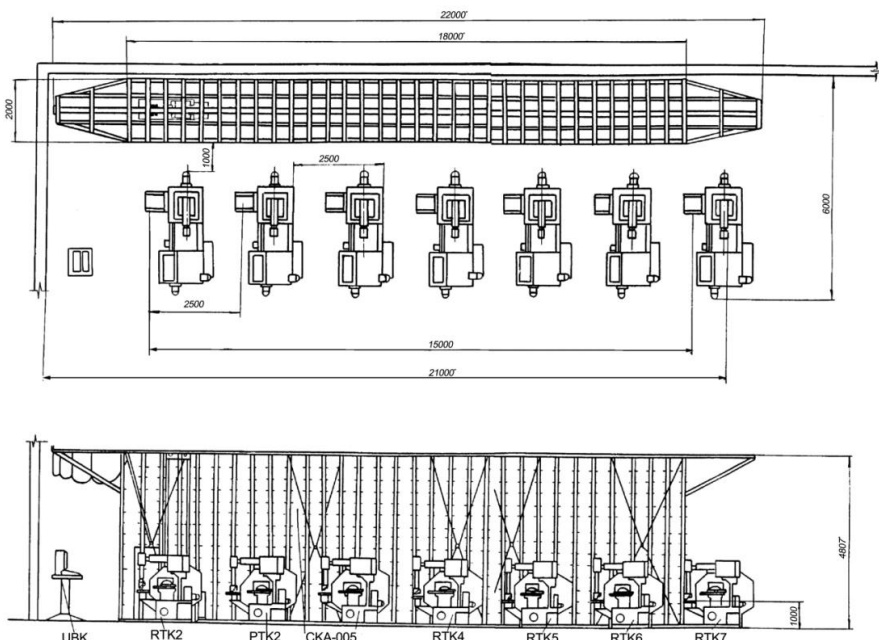
Rozszerzenie uniwersalności kasetowych zbiorników na inne grupy części wymaga zastosowania kaset o specjalnej konstrukcji o podwyższonej uniwersalności, posiadających ruchome elementy umożliwiające bazowanie części pod wpływem własnego ciężaru [4.12–4.15].



Rys. 4.10. Transporter grawitacyjny

Opracowano transporter grawitacyjny do przemieszczania międzyoperacyjnego części między ZKT, charakteryzujący się wysoką niezawodnością i niskim kosztem eksploatacji (brak napędu) [4.17]. Transporter grawitacyjny (rys. 4.10) składa się z korpusu 1 z prowadnicami 2, ustalonymi pod kątem 5° . Po prowadnicach przemieszcza się wózek 3 z trzpieniami bazującymi 6 do ustalania kasety 7. Półka załadowcza 5 robota jest wprowadzana między trzpienie przy ustalaniu lub wyjmowaniu kasety. Wózek jest połączony liną 8 z obciążnikiem 10, przemieszczającym się w rurze 9 wypełnionej olejem. Luz pomiędzy obciążnikiem i ściankami rury jest równy od 0,2 do 0,5 mm. W obciążniku jest wykonany otwór centralny z klapą 12 do regulacji prędkości ruchu wózka. Nieobciążony wózek znajduje się w górnym położeniu, ponieważ masa wózka jest mniejsza od masy obciążnika. Po ustawieniu na wózku, przy pomocy manipulatora 11, kasety, łączna masa wózka i kasety z częściami jest większa od masy obciążnika 10, a więc wózek przemieszcza się płynnie do podpory 4. Prędkość ruchu wózka jest regulowana przy pomocy kłapy 12, co pozwala unikać ostrych wstrząsów przy zatrzymaniu się wózka. Po zdjęciu kasety z wózka jego masa staje się mniejsza od masy obciążnika, co umożliwia jego powrót do położenia wyjściowego.

W wyniku przeprowadzonych badań zbudowano ESP jako elastyczny zautomatyzowany system składający się z niezależnych ZKT (rys. 4.11), połączonych z automatycznym magazynem.



Rys. 4.11. ESP do obróbki tokarskiej 28 części przyrządów elektronowych: ZKT – zrobotyzowany kompleks technologiczny, UOK – uniwersalny kompleks obliczeniowy, SKA-005 – magazyn automatyczny

4.4. Projektowanie struktury ESP montażu rezystora zmiennego

4.4.1. Projektowanie funkcjonalne ESP montażu

Współczesna produkcja, na przykład: radioelektroniczna, budowa aparatury, elektromaszynowa, urządzeń do pakowania itp. jest złożona, dlatego opracowanie urządzeń technologicznych do realizacji kompleksowego procesu wytwarzania części i montażu wyrobów jest zadaniem skomplikowanym. Szczególne miejsce zajmują procesy wytwarzania opakowań, a także ich wypełnienia odmierzoną dawką produktu, hermetyzacja opakowań, metkowanie itp. Elementy wykonane z półfabrykatów-taśm nie są wystarczająco mocne i chropowate, tracą kształt przy manipulowaniu nimi oraz łatwo ulegają uszkodzeniu. Po połączeniu takich elementów z innymi przenoszącymi części wyrobu (bazowymi), są one z nimi spawane, sklejane itp.

Połączenie technicznych funkcji roboczych kształtowania jakości wyrobu oraz pomocniczych, technicznych funkcji transportowania jego elementów między pozycjami, umożliwia zbudowanie modelu procesu roboczego. Rozmieszczenie

środków technicznych w strefie roboczej sprzętu technologicznego umożliwia określenie schematu technologicznego wyrobu, określającego pozycje robocze oraz strukturę przestrzenną sprzętu technologicznego. Do większości sprzętu technologicznego, przeznaczonego do realizacji kompleksowych procesów roboczych wchodzi kilka wejściowych potoków półfabrykatów.

Do realizacji procesu roboczego jest konieczne współdziałanie przestrzenno-czasowe środków technicznych i podsystemów transportowych. Powstaje problem określania optymalnego stopnia koncentracji funkcji roboczych w określonej pozycji. Rozwiązanie tego zadania wymaga optymalizacji procesu roboczego. Ponieważ charakterystyki funkcji pomocniczych przy transportowaniu elementów wyrobu w istotny sposób wpływają na schemat technologiczny, a w przypadku wielu wyrobów, wpływ ten często jest dominujący, to optymalizacja schematu technologicznego staje się koniecznym elementem projektowania sprzętu technologicznego.

W celu uproszczenia procedury projektowania wyodrębniono pewne rodzaje schematów sprzętów technologicznych, umożliwiających realizację kompleksowego procesu montażu i obróbki wyrobów przy następujących potokach wejściowych półfabrykatów (rys. 4.12):

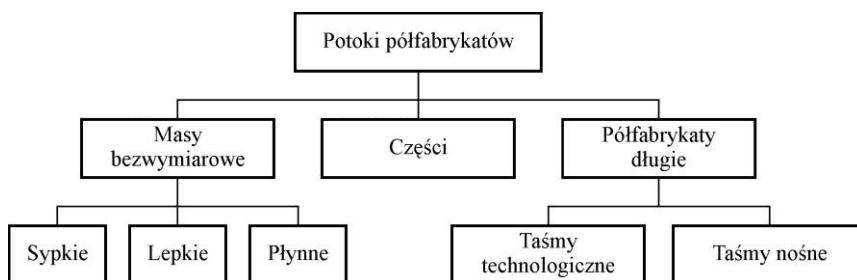
- schemat technologiczny o kilku potokach jednakowych rodzajów półfabrykatów wejściowych, realizujący montaż wyrobu z wykonaniem prostych operacji połączeń mechanicznych (zaginanie elementów, wiercenie, itp.),
 - schemat technologiczny o kilku potokach jednakowych rodzajów półfabrykatów-taśm, realizujący operacje wyrobu części z taśm oraz operacje montażowe,
 - schemat technologiczny o kilku potokach różnych rodzajów półfabrykatów wejściowych – poszczególnymi częściami i taśmami samoniosącymi – półfabrykaty, realizujący operacje obróbkowe i montażowe (kształtowanie małoszorstkich części w taśmie i ich łączenie z poszczególnymi częściami),
 - schemat technologiczny o kilku potokach różnych rodzajów półfabrykatów wejściowych – częściami i taśmami-półfabrykatami, umożliwiającymi realizację operacji obróbkowych i montażowych oraz wytwarzania półfabrykatów z taśm;
-
- schemat technologiczny o kilku potokach różnych rodzajów półfabrykatów wejściowych: części lub elementów bezwymiarowych w pojemnikach, umożliwiający realizację kształtowania, składowania, dozowania i pakowania (połączenia elementów oraz tworzenia mas bezwymiarowych),

- schemat technologiczny o kilku potokach różnych rodzajów półfabrykatów wejściowych – półfabrykatów-taśm i mas bezwymiarowych, realizujący operacji kształtowania objętościowego półfabrykatów, dozowania operacji pakowania.

W najbardziej ogólnym przypadku sprzęt technologiczny zawiera potoki półfabrykatów wejściowych trzech typów: mas bezwymiarowych, potoki poszczególnych części i potoki półfabrykatów płaskich i kształtowych.

Masa bezwymiarowa może być płynna, lepka lub sypka. Potok masy bezwymiarowej na wejściu do maszyny technologicznej zawsze jest dawkowany.

Półfabrykaty długie dzieli się na dwie grupy technologiczne: taśmy nośne, mające dostateczną do transportu międzyzwojowego trwałość oraz półfabrykaty o niewystarczającej trwałości, które są transportowane na taśmie technologicznej (rys. 4.12).

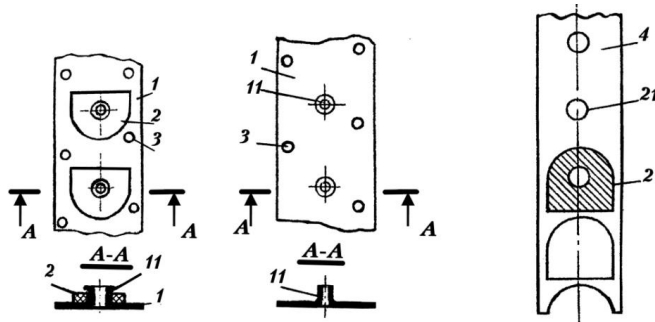


Rys. 4.12. Rodzaje półfabrykatów wejściowych

Rozpatrzona zostanie zasada budowy schematu technologicznego sprzętu do wyrobu dwóch części „na taśmie” [4.18], a więc wytwarzanie części bazowej 1 i elementu 2 (rys.4.13 a).

Technologia tradycyjna zawiera następujące operacje: wykonanie otworu 11 w metalicznej taśmie bazowej 1 i wycięcie z niej części 1, wykonanie otworu 21 i elementu 2, zorientowanie i bazowanie części 1 w urządzeniu montażowym, orientacja i dołączenie części 2 do otworu 11, doprowadzenie części 2 do kontaktu z częścią 1, połączenie części w wyniku rozwałcowania otworu 11.

Przy zastosowaniu technologii wytwarzania węzła „na taśmie” schemat technologiczny ulega uproszczeniu w wyniku tego, że na jednej pozycji roboczej jest wykonywane wycinanie części 2 z taśmy 4, jej dołączenie do otworu 11 taśmy bazowej 1 (rys. 4.13 b) i połączenie w wyniku rozwałcowywania (rys. 4.13 c). Część 2, dołączona do taśmy bazowej 1, jest razem z nią obrabiana i w miarę potrzeby łączona z innymi elementami.



Rys. 4.13. Technologia montażu na taśmie: a – przyłączenia części 2 do bazowej taśmy 1; b – bazowa taśma 1 z otworami 3 i elementem rurkowatym 11; c – taśma 4, z której jest wycinana część 2

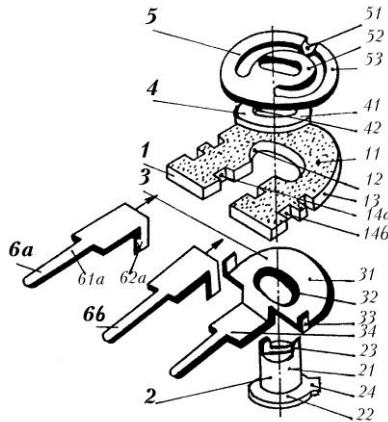
W celu projektowania i optymalizacji schematu technologicznego [4.19] zbudowano model konceptualny rezystora, którego elementami są nie tylko jego części $D1-D6$, lecz także elementy geometryczne (EG) tych części (rys.4.14):

$$\begin{aligned}
 D1 &= (EG-11, EG-12, EG-13, EG-14), \\
 D2 &= (EG-21, EG-22, EG-23, EG-24), \\
 D3 &= (EG-31, EG-32, EG-33, EG-34), \\
 D4 &= (EG-41, EG-42), \\
 D5 &= (EG-51, EG-52, EG-53), \\
 D6 a &= (EG-61a, EG-62a), \\
 D6 b &= (EG-61b, EG-62b).
 \end{aligned}
 \tag{4.41}$$

Istniejąca technologia wytwarzania rezystora zmiennego jest realizowana na automatycznej maszynie montażowej SYNECTON MODEL 55, do której są dostarczane części 1–6, wykonane na prasie automatycznej.

Istniejąca technologia wytwarzania rezystora zawiera następujące operacje:

1. Naniesienie warstwy rezystywnej na arkusz (pasek) tworzywa, suszenie go w piecu oraz wycięcie z niego podstawy 1 z warstwą rezystywną 1'.
2. Wykonanie z arkusza metodą wykrawania tulei 2.
3. Wykonanie metodą wykrawania części 3 i zagięcie pod kątem 90° bocznych wąsików $EG-33$, oznaczonych w skrócie, jako 33.
4. Wykonanie metodą wykrawania sprężyny 5 z utrzymującym ją na nadpróżach technologicznych elementem 51.
5. Łączenie podstawy 1 z dwoma elementami 6 i ich ustalenie w wyniku zagięcia wypustek 62. Operacja jest wykonywana na maszynie montażowej karuzelowej. Podstawa 1 przekazywana jest z magazynu na pozycję montażu manipulatorem z chwytakiem próżniowym, a elementy 6 są orientowane w orientowniku wibracyjnym i transportowane do strefy działania manipulatora.



Rys. 4.14. Elementy geometryczne części rezystora SPZ-38b

6. Pozostałe operacje montażowe są realizowane na drugiej maszynie montażowej typu karuzelowego, powiązanej przez manipulator z pierwszą. Na pierwszej pozycji tuleja 2 jest orientowana i podawana do strefy działania podajnika.
7. Na kolejnej pozycji element 3 jest pobierany z zasobnika wibracyjnego i przemieszczany podajnikiem wibracyjnym do strefy działania manipulatora, który łączy go z tuleją 2, znajdującą się w urządzeniu montażowym.
8. Podstawa 1 i elementy 6 są przekazywane przez manipulator z pierwszej maszyny montażowej na drugą i ustalane na tulei 2 i elementach 33.
9. Z zasobnika wibracyjnego do strefy działania manipulatora montażowego przenośnik transportuje podkładkę 4 nakładaną na tuleję 2.
10. Na stanowisku pomocniczym z taśmy-półfabrykatu są wykonywane sprężyny 5 i umieszczane na paletach, na których są dostarczane do manipulatora z chwytakiem próżniowym, ustalającym sprężynę na wypustkach 23 tulei 2.
11. W tej pozycji wypustki tulei 2 są zaginane, ustalając zmontowany zestaw.

Podejście tradycyjne do projektowania schematu technologicznego określa standardową kolejność operacji – w pierwszej kolejności są realizowane połączenia geometrycznych elementów części, umożliwiające wykonanie poszczególnych części, a następnie – łączenie mechaniczne części podczas montażu wyrobu. Wynikiem takiego podejścia jest schemat technologiczny sprzętu w postaci linii technologicznej. W linii jest kilka maszyn obróbkowych i automatów montażowych, połączonych transportem międzyoperacyjnym. Eksploatacja linii w warunkach przemysłowych pokazała jej niedostateczną niezawodność i częste przestoje w celu usunięcia awarii podsystemu transportowego. Współczynnik wykorzystania linii technologicznej nie przekraczał 0,5.

Analiza istniejącej technologii wytwarzania rezystora SPZ-38b pokazała, że w jej skład wchodzi dwa rodzaje operacji technologicznych: wykrawanie (wycinanie elementów z taśmy, kształtowanie i zaginanie) oraz montaż (łączenie w wyrób poszczególnych części). Jak pokazały badania eksploatowanego automatycznego podsystemu transportowego przy transportowaniu części o numerach 3, 6a, 6b współczynnik jego wykorzystania jest równy: $k_t = 0,5-0,65$. Do modelowania i optymalizacji schematu technologicznego zastosowano, więc algorytm optymalizacji wejściowych potoków półfabrykatów. Listę elementów geometrycznych i poszczególnych części oraz związków między nimi wykorzystano do budowy macierzy pierwszeństwa przejść technologicznych montażu rezystora. Ponieważ wymiarowość macierzy jest duża, to nie jest ona omawiana. Wyniki przedstawiono w postaci schematu technologicznego wyrobu rezystora [4.19], na którym wyodrębniono pozycje robocze (rys. 4.15). Na pozycji I z taśmy metalowej 7 częściowo jest wycinany półfabrykat części 3 i dwóch elementów 6a, 6b, utrzymujących się na taśmie przy pomocy elementów technologicznych 8 (rys. 4.15 a). Na tej pozycji są wykonywane elementy: 31, 32, 34, 61a, 61b.

Na pozycji II są kształtowane elementy geometryczne 62a i 62b, a także elementy geometryczne 34, a na pozycji III – oporowe elementy geometryczne 33, elementy 3, a także 6a i 6b w górę, ułatwiające dostęp do części 3.

Na pozycji IV do otworu centralnego (element geometryczny 32) 3 jest podawana od dołu tuleja 2. Tuleja jest dostarczana z zasobnika wibracyjnego 17 (rys. 4.15 b) do chwytaka 18, znajdującego się razem z podajnikiem 19 w skrajnym dolnym położeniu (linia przerywana). Chwytnacz razem z podajnikiem 19 przemieszcza się w górne położenie do oparcia chwytaka o prowadnicę 20, wzdłuż której przemieszcza się taśma 7. Podajnik 19, przemieszcza tuleję 2 przez otwór w prowadnicy 20 do połączenia z otworem (element geometryczny 32) w taśmie 7. Taśma 7 przemieszcza się o jeden krok, zdejmując tuleję z podajnika 19. Na pozycji V tuleja 2 jest łączona z podstawą 1, a także elementami 3 (rys. 4.15 a, c). Podstawa 1 jest dostarczana z magazynu manipulatorom z chwytakiem próżniowym.

Na pozycji VI elementy 6a i 6b są dociskane do powstania kontaktu z pokryciem rezystancyjnym podstawy 1 i ustalone w tym położeniu przez zaginanie występów elementu 62a, 62b. Elementy 6 utrzymują na taśmie 7 występy technologiczne 8 (rys. 4.15 a,d). Na pozycji VII stempel 11 wycina podkładkę 4 z taśmy izolacyjnej 12, w której poprzednio wykonano otwór wewnętrzny (element geometryczny 42). W położeniu dolnym stempla 11 podkładka jest nakładana na tuleję 2. W celu zapobiegania odkształceniom występów elementu geometrycznego 23 tulei 2 podkładka jest wycinana drążonym stemplem 11 (rys. 4.15 a,d). Na pozycji VIII z taśmy z brązu 14 stemplem 13 jest wycinana sprężyna 5, która jest umieszczana na występach technologicznych 15 (rys. 4.15 a, f). Taśma 14 przesuwana się wzdłuż elementu 22, w podłużnym wpuście 23, w którym porusza się element sprężyny kontaktowej. Stempel 13 przemieszcza się do dołu wycinając elementy 15, utrzymujące sprężynę kontaktową na taśmie 14 i przesuwając sprężynę kontaktową do dołu do występów elementu 23 tulei 2. Sprężyna wchodzi w kontakt z podkładką 4.

Stempel 24, przemieszczając się zagina występy tulei 2, łącząc części rezystora w pakiet.

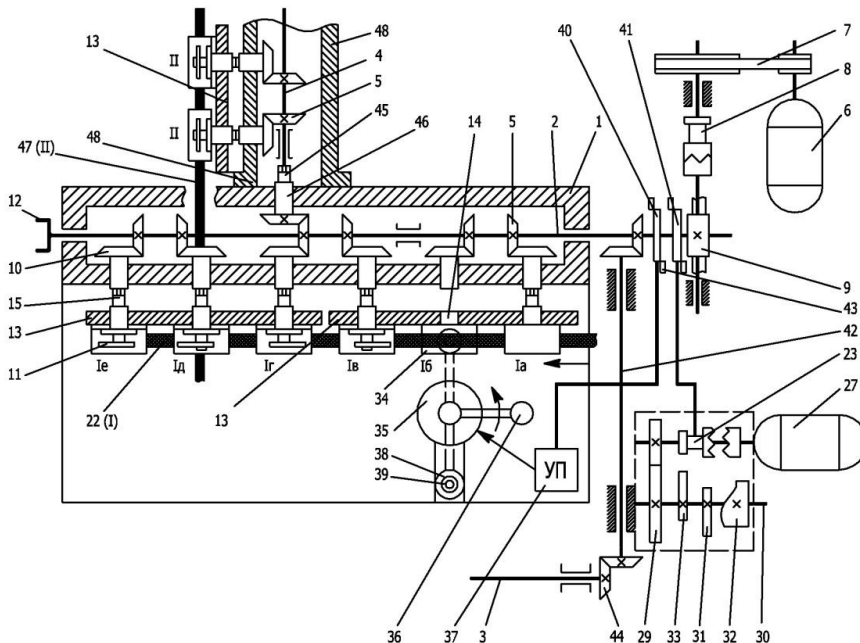
Obecność elementu sprężynowego 52 w sprężynie kontaktowej 5 umożliwia kontakt elektryczny między elementem 51 sprężyny kontaktowej 5 i warstwą rezystancyjną podstawy 1. Na pozycji IX są wykonywane występy technologiczne 8 boczne i środkowe, umożliwiające zdjęcie wykonanego rezystora z taśmy metalowej 7.

Opracowany schemat technologiczny wytwarzania rezystora „na taśmie” pozwala zrezygnować z wejściowych potoków wykonanych metodą wykrawania części: 3, 6a, 6b, które podczas automatycznego załadunku mogą ulec uszkodzeniu.

4.4.2. Projektowanie struktury ESP montażu rezystora

W wielopozycyjnym sprzęcie technologicznym do wyrobu części rezystora z taśm i ich łączenia między sobą oraz z innymi elementami wyrobu [4.20] można wyróżnić kilka bloków roboczych urządzeń funkcjonalnych. W przypadku tych urządzeń funkcjonalnych musi być możliwe szybkie przeprowadzenie remontu przy zachowaniu struktury informacyjnej i związków energetycznych, czyli ciągłości kinematycznej schematu. Wielopozycyjny sprzęt technologiczny realizuje główne operacje technologiczne procesu wytwarzania rezystorów kilku grup wymiarowych, składające się z pojedynczych części oraz części wykonane z taśm przy montażu. Mogą to być rezystory różnych modeli. Takie wyroby mają części, wykonywane w całości lub częściowo na taśmie, a więc nie trzeba ich wykonywać w trakcie lub po montażu oraz części dostarczane na montaż urządzeniami załadowniczymi.

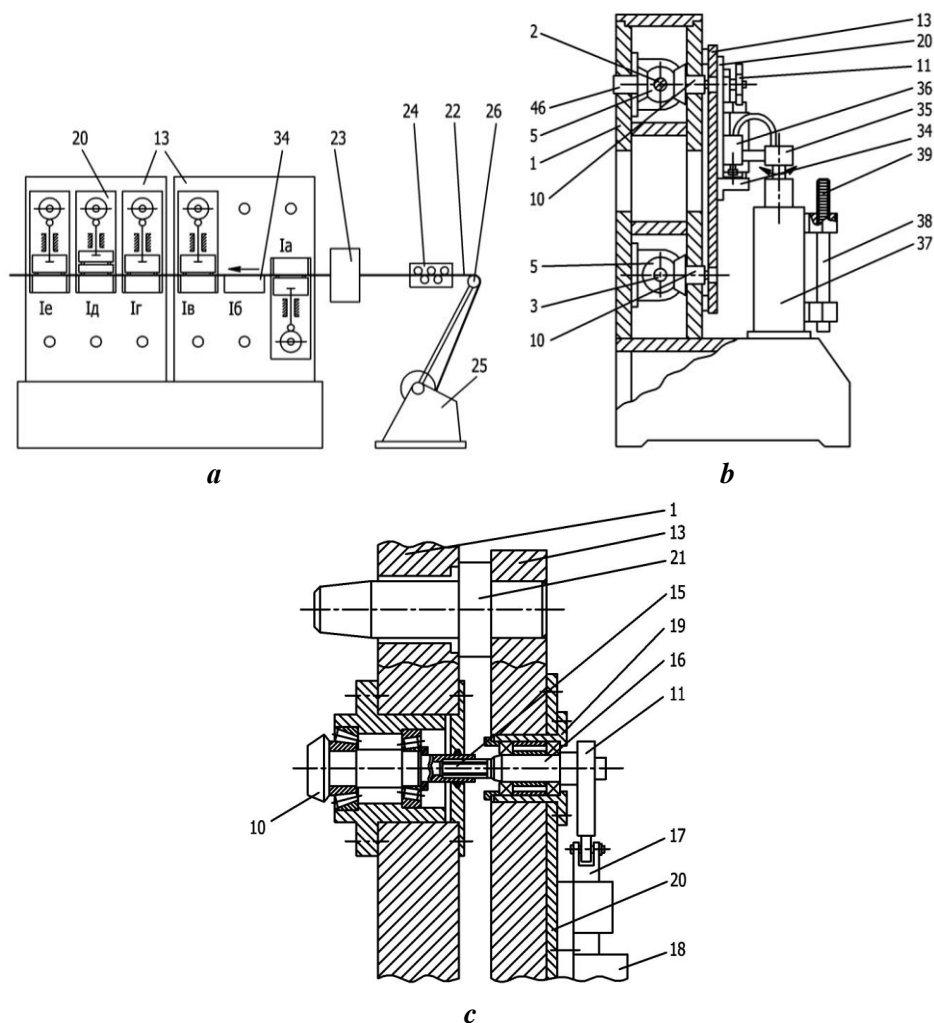
Podstawowa kinematyka bazowa wielopozycyjnego urządzenia technologicznego – rekonfigurowalnej maszyny technologicznej jest przedstawiona na rys. 4.16.



Rys. 4.16. Kinematyka wielopozycyjnego rekonfigurowalnego urządzenia technologicznego do wytwarzania grupy wyrobów

Urządzenie rekonfigurowalne ma łożo 1, w którym znajduje się główny wał napędowy 2 i dodatkowe wały napędowe 3 i 4 z umieszczonymi na nich prowadzącymi kołami stożkowymi 5. Główny wał napędowy 2 jest powiązany z silnikiem 6 przekładniami pasowymi 7, sprzęgłem 8 i przekładnią ślimakową 9. Koła stożkowe prowadzące 5 są na stałe zazębiane z stożkowymi kołami zębatymi 10. Na głównym wale napędowym 2 znajduje się sprzęgło 12, które może być wykorzystane do zwiększania liczby urządzeń funkcjonalnych. Urządzenia funkcjonalne 20 są ustalone na wymiennych płytach według otworów centrujących 14.

Każde urządzenie funkcjonalne ma swój napęd 11, powiązany przez wielowypust 15 z kołem stożkowym 10. Napęd 11 jest związany poprzez suwak 17 z narzędziem roboczym 18 (rys. 4.17c). Korpus 19 wału 16, korpus suwaka 17 i nieruchoma część narzędzia są przymocowane do korpusu 20, ustawionego na płycie 13. Płyta, zawierająca zestaw urządzeń funkcjonalnych, jest ustalona na łożu 1 przy pomocy sworzni centrujących 21, chroniących również połączenie wielowypustowe 15. Połączenie wielowypustowe umożliwia przyłączenie do napędu głównego jednostek napędowych 11 urządzeń, rozmieszczonych na płytach 13. Do podawania taśmy 22 sprzęt posiada mechanizm przemieszczania krokowego 23, urządzenie do prostowania taśmy 24 oraz uchwyt prowadzący rolki 26 (rys. 4.17a).



Rys. 4.17. Rozmieszczenie urządzeń funkcjonalnych na płytach (a), pozycja załadunku części (b) i powiązanie kinematyczne wału napędowego z urządzeniem funkcjonalnym (c)

Mechanizm krokowy jest powiązany z silnikiem elektrycznym 27, sprzęgłem elektromagnetycznym 28, przekładnią zębatą 29 i poprzez krzywkę wałka rozrzędu 30 z krzywkami 31–33, zaciskającymi taśmę przy jej przemieszczeniu o krok i dociskającymi przesuniętą taśmę (rys. 4.16).

W celu przyłączenia poszczególnych części do taśmy 22 na pozycji montażu 34 może być umieszczony manipulator 35 z chwytakiem próżniowym 36 i napędem 37, a także magazyn 38 z częściami 39 (rys. 4.16, 4.17). Na głównym wale napędowym 2 znajdują się krzywki sterujące 40 i 41 napędem 37 oraz

sprzęgłem elektromagnetycznym 28. Dodatkowy wał napędowy 3 jest podwiązany z wałem głównym 2 przy pomocy wału 42 i dwóch przekładni stożkowych zębatych 43 i 44, a dodatkowy wał napędowy 4 – przy pomocy połączenia wielowypustowego 45 i koła stożkowego 46, zazębionego na stałe z prowadzącym stożkowym kołem zębatym 5 głównego wałka napędowego 2. Do krokowego przesuwu drugiej taśmy 47 zastosowano mechanizm (niepokazany), analogiczny do mechanizmu przesuwania taśmy bazowej 22. Dodatkowy wał napędowy 4 jest umiejscowiony w korpusie 48 przyłączonymi do łoża 1.

Każde urządzenie funkcjonalne realizuje proste przejście technologiczne, a każda zmienna płyta zawiera zestaw urządzeń funkcjonalnych, co umożliwia realizację skomplikowanej operacji technologicznej. Zestaw zmiennych płyt umożliwia określenie kolejności i zestawu takich skonsolidowanych operacji technologicznych, umożliwiając realizację grupy rekonfigurowalnych procesów technologicznych.

W skład sprzętu technologicznego może wchodzić dowolna liczba urządzeń funkcjonalnych w zależności od złożoności wyrobu. Można zaliczyć do niego następujące typowe urządzenia funkcjonalne:

- urządzenia do przygotowania taśm do transportowania międzypozycyjnego i do sztancowania części na taśmie. Można zaliczyć do nich: wykrojniki do wykonania w taśmie bazowych otworów technologicznych, wykrojniki do wycinania półfabrykatów, głowice wiertarskie i gwincarskie itp.,
- urządzenia funkcjonalne do obróbki części dołączonych do taśmy: głowice wiertarskie, gwincarskie i inne,
- urządzenia funkcjonalne do montażu i łączenia części ze sobą i z taśmą, będącą elementem bazowym przy montażu wyrobu (tłoczenia, zaginania, spawania, sklejanie, lutowania itp.),
- urządzenia funkcjonalne do wycinania z taśmy bazowej wyrobu gotowego, będące różnego rodzaju wykrojnikami.

Podsystem transportowy zawiera typowe pomocnicze urządzenia funkcjonalne, a mianowicie: mechanizmy krokowego przemieszczenia taśmy, mechanizmy załadunku części; urządzenia magazynowe (magazyny, zasobniki, itp.).

Sprzęt technologiczny pracuje w sposób następujący. Płyty 13 z nastawionymi urządzeniami funkcjonalnymi są ustawiane i mocowane za pomocą sworzni centrujących 21 w łożu 1. Wały napędowe elementów siłowych 16 są połączone z napędzanymi kołami stożkowymi 10 za pomocą połączenia wielowypustowego 15. Przygotowane końce taśm 22 i 47 są wstawiane i części 39 są przekazywane do magazynu 38. Włączany jest napęd i sprzęgło elektromagnetyczne 8. Obroty są przekazywane przez wały 2, 3, 4, koła zębate stożkowe 10, a zatem przez połączenie wielowypustowe 15 na element siłowy 11, które porusza suwak 17 z narzędziem roboczym 18. Położenie wyjściowe narzędzia jest nastawiane, a synchronizacja pracy jest uzyskiwana w wyniku stałego powiązania kinematycznego wałów napędowych i zębatymi kołami stożkowymi 5.

Synchronizację pracy mechanizmu załadunku 35 części 39 umożliwia krzywka 40, sterująca napędem 37. Chwytnak próżniowy 36 powraca do magazynu 38, pobiera kolejną część 39 i przemieszcza się do pozycji montażowej 34 i opuszcza część na taśmę 22. Operacja robocza i załadunek na taśmę części są wykonywane w trakcie niepełnego obrotu wałów napędowych 2–4. Przy końcu obrotu krzywka 41 włącza sprzęgło elektromagnetyczne 28, które łączy napęd elektryczny 27 z krzywkowym wałem rozrządu 30, w trakcie obrotu, którego taśma 22 przemieszcza się o krok i wyłącza sprzęgło. Jednocześnie przemieszcza się o krok taśma 47. Zatem ma miejsce kolejny obrót wałów napędowych i cykl ulega powtórzeniu.

Efektywność sprzętu technologicznego jest uwarunkowana jego wysoką niezawodnością, wynikającą z prostoty procesu transportowego i wysokiej mobilności uzyskiwanej dzięki możliwości szybkiej rekonfiguracji poprzez wymianę całych bloków urządzeń funkcjonalnych (płyt narzędziowych z zestawami urządzeń funkcjonalnych). Jest to wynikiem modułowo-funkcjonalnej budowy sprzętu technologicznego. Sprzęt technologiczny ma w tym przypadku duże możliwości technologiczne, umożliwiające jego zastosowanie do produkcji szerokiej klasy wyrobów, składających się z części, wytwarzanych na taśmach. W tym przypadku nie ma konieczności stosowania mechanizmów załadowczo-orientujących, które przy załadunku części gładkich i wzajemnie się wszczepiających są dosyć zawodne.

W zależności od złożoności wyrobu, maszyna może mieć różną liczbę dodatkowych wałów transmisyjnych, które mogą być rozmieszczone równoległe lub prostopadle względem głównego wała transmisyjnego, tworząc odpowiedni schemat strukturalny rozmieszczenia. Obecność zmiennych płyt z regulowanymi urządzeniami funkcjonalnymi pozwala skrócić czas rekonfigurowania do 15–20 minut, zamiast kilku tygodni. Kompletując zestawy zmiennych płyt z regulowanymi urządzeniami funkcjonalnymi, można za pomocą jednej maszyny wykonywać wiele wyrobów. Wydajność takiej maszyny uniwersalnej jest ekwiwalentna wydajności całej sekcji maszyn.

4.5. Projektowanie struktury ESP pakowania

4.5.1. Właściwości technologii optymalizacji strukturalnej ESP

Przy budowie modelu strukturalnego ESP uwzględnia się następujące różnice między jego alternatywnymi wariantami:

- zestaw jakościowy elementów, czyli możliwe warianty różnych konstrukcyjnych realizacji maszyn technologicznych i sprzętu pomocniczego,
- liczbę maszyn technologicznych w podsystemie technologicznym,
- sposób rozmieszczenia maszyn technologicznych w ESP.

Procedury syntezy systemu umożliwiają poszukiwanie wariantu ESP, najlepiej spełniającego postawione zadania [4.35, 4.41].

Zadanie optymalizacji, w przypadku zastosowania jednego z parametrów technicznych p_1 lub jednego z parametrów ekonomicznych p_2 jako kryterium optymalizacji, można przedstawić w postaci:

$$\begin{cases} F_1(X) = p_1 \rightarrow \max, \\ p_2 \leq p_{2okr}. \end{cases} \quad (4.42)$$

lub

$$\begin{cases} F_2(X) = p_2 \rightarrow \min, \\ p_1 \geq p_{1okr}. \end{cases} \quad (4.43)$$

W pierwszym wariacie funkcją celu jest maksymalizowany parametr techniczny p_1 , a parametr ekonomiczny p_2 jest określany w postaci warunku brzegowego, a w wariacie drugim – przeciwnie: parametr ekonomiczny jest funkcją celu, a parametr techniczny jest warunkiem brzegowym.

Ogólne podejście do poszukiwania optymalnej struktury polega na odsiewaniu wariantów nieperspektywicznych.

Na zbiór N otrzymanych wariantów struktury ESP są nakładane ograniczenia odnośnie kryteriów optymalizacji p_1 i p_2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n p_{1i} \cdot x_i \geq p_1, \\ x_i \in X_j, \quad i, j = \overline{1, n} \end{array} \right\}, \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n p_{2i} \cdot x_i \leq p_2, \\ x_i \in X_j, \quad i, j = \overline{1, n} \end{array} \right\}. \quad (4.44)$$

W wyniku jest otrzymywany zbiór wariantów N' , z którego stopniowo są eliminowane rozwiązania niedominujące, zawężając obszar poszukiwania do podzbioru wariantów priorytetowych X' . Zatem tak określony zbiór wariantów, zawęży się do podzbioru wariantów dominujących X'' i podzbioru wariantów finalnych X''' , spośród których jest znajdowany wynik optymalny – najlepszy wariant struktury ESP – X_{opt} :

$$X_{opt} \in X''', \quad X''' \subset X'' \subset X'. \quad (4.45)$$

Metoda poszukiwania optymalnego wariantu struktury ESP musi opierać się na dwóch zasadach: wyodrębnienia zbioru alternatyw dominujących i wybór wśród nich optymalnej oraz wykluczenia prawdopodobieństwa odsiewania wariantów potencjalnie bardziej efektywnych w porównaniu do przyjętych do dalszej analizy [4.21, 4.22].

Przy realizacji procedury należy określić połączenia między elementami ESP, określających strukturę optymalnego wariantu systemu:

$$R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}. \quad (4.46)$$

Dowolny ESP można więc opisać zbiorem:

$$K = \{F, X, R\}, \quad (4.47)$$

gdzie: F – zbiór grupowych operacji technologicznych, określonych przy projektowaniu funkcjonalnym ESP,
 X – zbiór typów maszyn technologicznych, niezbędnych do realizacji operacji,
 R – zbiór powiązań między maszynami ESP.

Współdziałanie procedur syntezy i optymalizacji można osiągnąć w wyniku zastosowania jednej ze strategii [4.23]:

- optymalizacji jednoetapowej obejmującej syntezę wszystkich wariantów struktury ESP ich ocenę i wybór najlepszego,
- optymalizacji wieloetapowej, polegającej na etapowym generowaniu wariantu struktury poprzez dodawanie elementów do struktury ESP i każdorazowym ocenianiu otrzymanego wariantu struktury. W tym przypadku powiększanie struktury i jej ocena wzajemnie się przeplatają, po dodaniu kolejnego elementu. Wieloetapowa optymalizacja może być wykonywana w sekwencji bezpośredniej (w kierunku „z góry do dołu”), począwszy od elementu realizującego pierwszą operację technologiczną, jak również w kolejności odwrotnej (w kierunku „od dołu do góry”), czyli od elementu wykonującego ostatnią operację technologiczną.

W przypadku optymalizacji jednoetapowej są stosowane metody generacyjne, opierające się na algorytmie charakteryzującym się możliwością analizy tylko wariantów gotowych struktur. Jest on realizowany w następującej kolejności:

- wybór lub generowanie kolejnego wariantu struktury,

Wzrost liczby elementów strukturalnych (maszyn technologicznych), mogących wchodzić w skład ESP i wariantów ich konstrukcyjnego wykonania, zwiększa się proporcjonalnie do obszaru rozwiązań dopuszczalnych, co wymaga do rozwiązania zadania znacznych mocy obliczeniowych. Dlatego algorytm optymalizacji jednoetapowej jest efektywny tylko przy niewielkiej liczbie składników strukturalnych ESP i – odpowiednio – wariantów dopuszczalnych rozwiązań.

W przypadku optymalizacji wieloetapowej są stosowane algorytmy umożliwiające rozwiązanie zadania syntezy krok po kroku oraz ocenę struktur pośrednich na każdym etapie rozwiązania. W podstawie metod ukierunkowanego przeszukiwania leżą właśnie takie algorytmy, bazujące na możliwości eliminacji na każdym etapie nieperspektywicznych kierunków syntezy struktury.

Metodyka konsekwentnego rozwoju, analizy i eliminacji wariantów polega na eliminowaniu nieperspektywicznych początkowych części wariantów niespełniających nałożonych ograniczeń i funkcji celu, aż do określenia ostatecznych rozwiązań. Przy ich eliminowaniu, eliminowany jest również zbiór ich przedłużeń, dzięki czemu uzyskuje się znaczące zmniejszenie kosztów.

Zadanie optymalizacji struktury ESP należy do zadań dyskretnej całkowitoblowej optymalizacji. Algorytmiczne zadania optymalizacji struktury są rozwiązywane przy zastosowaniu dobrze znanego sposobu. Przeprowadzana jest analiza dowolnego początkowego wariantu struktury oraz jego porównanie jego charakterystyk z charakterystykami wymaganymi. Jeżeli wyniki są rozbieżne, to jest porównywany kolejny wariant struktury z uwzględnieniem charakterystyk poprzedniego i procedura jest powtarzana, aż do uzyskania zadawalającego wyniku.

Zadanie optymalizacji komplikuje się w przypadku poszukiwania najlepszego wariantu struktury ESP przy konieczności uwzględnienia kilku kryteriów jego oceny. Zadanie optymalizacji wielokryterialnej można sformułować jako [4.23]:

$$F(X) = (f_1(X), f_2(X), \dots, f_s(X)) \rightarrow \max(\min), \quad (4.48)$$

gdzie: $f_1(X), f_2(X), \dots$ – przyjęte kryteria optymalności.

Rozwiązanie zadania optymalizacji wielokryterialnej najczęściej przebiega w następujący sposób:

- przyjęte kryteria optymalności są zastępowane jednym integralnym kryterium z bezpośrednim wskazaniem ekstremum,
- zastosowanie specjalnych algorytmów przeszukiwania, na przykład, pracujących na zasadzie przeszukiwania Pareto,
- konsekwentne stosowanie dwóch sposobów rozwiązania – zawężanie pola poszukiwania do zbioru Pareto, a zatem zastosowanie kryterium integralnego do uzyskania najlepszego wariantu.

Zadanie optymalizacji syntezy struktury ESP można zaliczyć do zadań całkowitoblowego programowania dyskretnego.

4.5.2. Optymalizacja struktury oraz kosztów linii technologicznej metodą „podziału i ograniczeń”

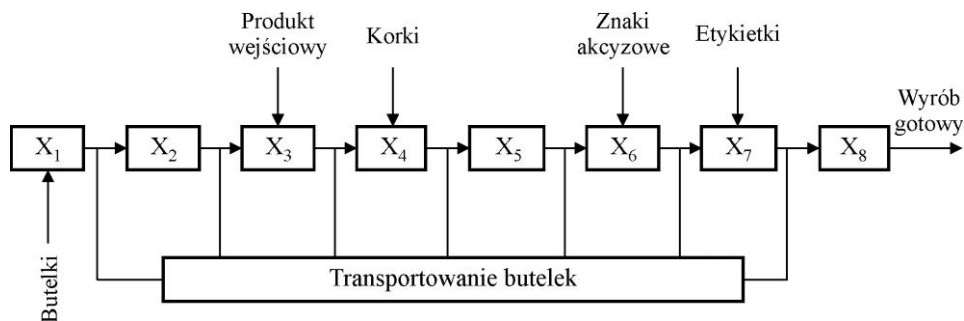
Praktyka pokazuje, że do rozwiązania zadań optymalizacji syntezy struktury systemów technologicznych, dobrze nadaje się metoda „podziału i ograniczeń”. W podstawie metody „podziału i ograniczeń” leży idea konsekwentnego rozbicia zbioru dopuszczalnych decyzji na podzbiory [4.21, 4.34, 4.40]. Znane są modyfikacje tej metody, które mogą być zastosowane do rozwiązywania różnych typów zadań programowania dyskretnego. W metodzie „podziału i ograniczeń” należy w rozpatrywanym zadaniu optymalizacji określić minimum celu funkcji.

Jak pokazuje doświadczenie, uwzględnienie specyfiki syntezy ESP umożliwia znaczące podwyższenie efektywności procedury obliczeniowej, stosowanej do rozwiązywania zadań programowania dyskretnego. W wielu przypadkach synteza strukturalna, chociaż matematycznie sformalizowana jako zadanie programowania dyskretnego, jest jednak trudna do rozwiązania w wyniku dużej wymiarowości zadania i wpływu czynników przypadkowych.

Większość metod ukierunkowanego przeszukiwania bazuje na metodzie „podziału i ograniczeń”, polegającej na budowie „rozwiązań częściowych”, do których zalicza się metody konstruowania estymatorów, umożliwiające rozpoznawanie pozbawionych perspektyw rozwiązań cząstkowych, które powinny być od razu odrzucone.

W przypadku podobnych metod szybkiego przeglądu wariantów jest charakterystyczna organizacja przeszukiwania powracającego. Zastosowanie tych metod w pewnym stopniu umożliwia przyśpieszenie poszukiwania rozwiązania przy zachowaniu w ogólnym przypadku eksponentyjnej zależności pomiędzy pracochłonnością, a wejściową liczbą parametrów. Algorytmy przeszukiwania przy rozwiązywaniu zadań praktycznych o dużej wymiarowości są nieefektywne i mogą być stosowane tylko przy niewielkiej ilości danych wejściowych.

Zadanie optymalizacji przedstawiono na przykładzie doboru urządzeń podstawowych i transportowych do systemu maszyn – automatycznej linii do rozlewania napojów (rys. 4.18). Linia wykonuje z określoną wydajnością proces roboczy, zawierający niezbędny zestaw operacji napełniania i zamykania butelek. Kryterium optymalizacji są koszty budowy linii.

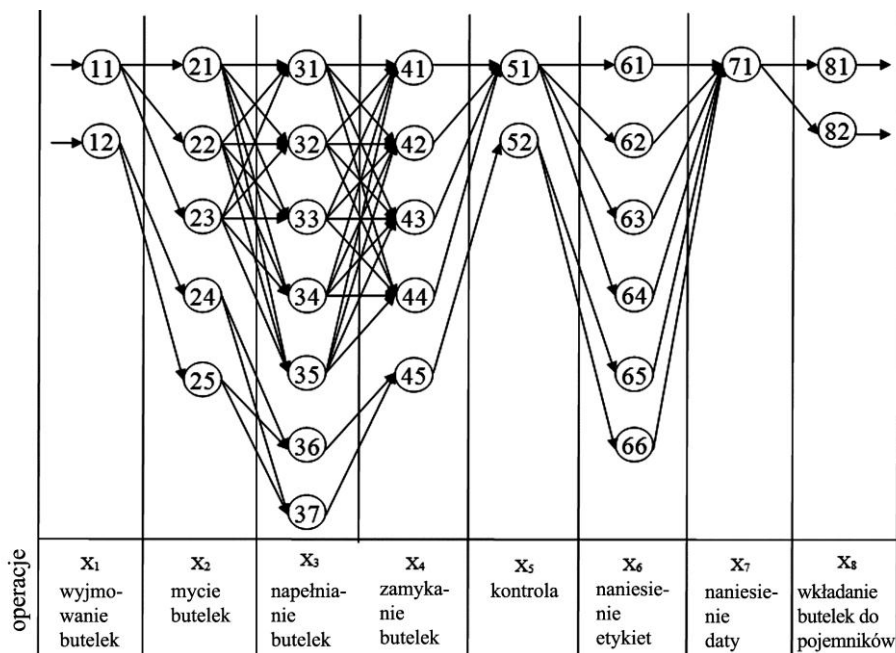


Rys.4.18. Schemat technologiczny linii automatycznej do rozlewania napojów alkoholowych w szklane butelki: X1– wyjmowanie butelek pojemników, X2 – mycie butelek, X3 – napelnianie butelek, X4 – zamykanie butelek, X5 – kontrola, X6 – naniesienia etykiet, X7 – naniesienia daty, X8 – wkładanie butelek do pojemnika

Ze względu na dużą liczbę modeli istniejących urządzeń, znajdowanie rozwiązania optymalnego jest dosyć pracochłonnym procesem. Ponieważ w linii technologicznej jest wiele urządzeń, to do rozwiązania zadania optymalizacji struktury należy zastosować jedną z metod ukierunkowanego przeszukiwania. W tym przypadku, w miarę dodawania pooperacyjnego do jej struktury odpowiednich maszyn technologicznych i zawężania krok po kroku kręgu poszukiwania optymalnego wyniku, są odsiewane nieperspektywiczne warianty struktury. W podstawę programu optymalizacji strukturalnej linii założono poszukiwanie ukierunkowane rozwiązania optymalnego z wygenerowanego przez program zbioru dopuszczalnych wariantów struktury.

Przy wyborze metody optymalizacji uwzględnia się, że każda poszczególna jednostka urządzenia może wykonywać jednocześnie kilka operacji.

Liczba jednostek urządzenia, potrzebnego do utworzenia linii niekoniecznie jest równa liczbie operacji. Przy optymalizacji należy także uwzględniać koszt urządzenia transportowego, przy czym, na przykład koszt przenośnika jest zależny od liczby jednostek urządzenia podstawowego.



Rys. 4. 19. Model optymalizacji struktury automatycznej linii do rozlewania napojów alkoholowych w szklane butelki: oznaczenie urządzenia w tablicy

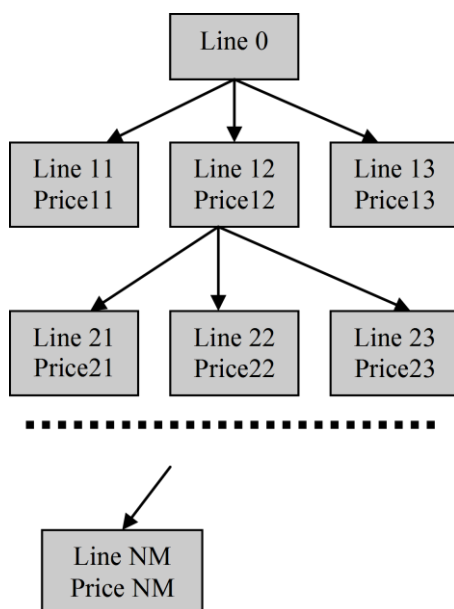
Wyposażenie standardowe stosowane do rozlewania napojów alkoholowych w szklane butelki odpowiednio w przypadku operacji podstawowych i pomocniczych jest przedstawione w tab. 4.1. Model optymalizacji struktury automatycznej linii do rozlewania napojów płynnych przedstawiono na rys. 4.19 Można go rozwiązać przy zastosowaniu typowego algorytmu [4.25, 4.37].

Przeprowadzono formalizację rozwiązywanego zadania. Niech będzie n etapów, z których każdy odpowiada i -ej operacji technologicznej ($i=1,2,.., n$). Wykonać i -tą operację technologiczną można na jednej z alternatywnych maszyn technologicznych. Każda j -ta ($j=1,2,.., M_i$) maszyna charakteryzuje się takimi parametrami jak: wydajność $Q[i, j]$, cena $K[i, j]$, marka $M[i, j]$. Graf skierowanych możliwych wariantów struktury linii automatycznej można opisać macierzą C , będącą tablicą 2-wymiarową $(n-1) \cdot m \times n \cdot m$. Indeksami tablicy są oznaczenia identyfikujące jednoznacznie jednostkę urządzenia, na przykład marka maszyny. Elementy tablicy określają możliwość łączenia urządzeń w linii automatycznej i mogą przyjmować dwie wartości, na przykład: $C[BZ-OI2A-1, AMM-6]=TRUE$ oznacza, że automat do wyjmowania butelek z pojemnika BZ-OI2A-1 i maszynę do mycia butelek AMM-6 można połączyć w linii.

Tab. 4.1. Wyposażenie standardowe stosowane w przemyśle napojów alkoholowych

Kod	Nazwa urządzenia	Marka urządzenia	Wydajność but./godz.	Orientacyjna cena w jednostkach umownych
1	2	3	4	5
X11 X12	Automaty do wyjmowania butelek	I2-AIA-12 BZ-OI2A-1	12000 6000	14200 10600
X81 X82	Automaty do wkładania butelek	I2-AUA-12 BZ-OU2A-1	12000 6000	21500 16100
X21 X22	Maszyny do mycia butelek	AMM-6 AMM-12	6000 12000	19800 26400
X23 X24 X25	Maszyny do płukania butelek	GAI AVE SIMONAZZI	6000 6000 12000	19500 18500 26000
X31 X32 X33 X34 X35 X36 X37	Maszyny do napełniania	T1-WRA-6A D9-WRM-6 D9WR2M-6 SAITZ VIR MAURI T1-WNA-12 SIMONAZZI	6000 6000 6000 6000 6000 12000 12000	9300 8000 8300 25500 30000 12400 32000
X41 X42 X43 X44 X45	Automaty zamykające	L5-WUW BERTOLASO OMECC AROL BERTOLASO	6000 6000 6000 6000 1200	5000 17000 16000 17500 21000
	Maszyny do napełniania i zamykania	BZ-WRK-3 NAGEMA T1-WRC-12	6000 6000 12000	36000 48000 45000
X51 X52	Automaty kontrolne	W6-WIB B6-WIA	6000 12000	1900 2200
X61 X62 X63 X64 X65 X66	Maszyny do nanoszenia etykiet	L5-WE2-m KOSMAC 9T S2 EXTRA FIX 9T S3 KOSMAC 9T S2 E3 A1 - BEC EXECUTIVE 24T 2S 3E	6000 6000 6000 6000 12000 12000	3100 11000 11000 22000 4500 35500
	Maszyny do nanoszenia etykiet i znaków akcyzy	SENIOR 12T 2S 3E SG72 2S 10T CG78 2S 12T	6000 6000 7000	32000 20000 29000
X71	Czujnik dla naniesienia daty	S - PRIMA	6000 12000	1500
	Przełożnik łańcuchowy do kaset	WJA-6 WJA-12	6000 12000	5800 8700
	Transportery do butelek	T1-WTG-6 B2-WRZ/1	6000 12000	2580 5750

Stosowanie metody podziału i ograniczeń do optymalizacji struktury linii automatyzowanej oparte jest na podejściu przedstawionym szczegółowo w pozycjach [4.21,4.25]. Warianty struktury linii są przedstawione w postaci drzewa z rozgałęzieniami w przypadku każdej operacji, wykonywanej w linii automatycznej (rys. 4.20). Oznaczenie „Line” odpowiada tablicy zawierającej spis urządzeń, a „Price” – tablicy z ceną każdej jednostki urządzenia. Każde rozgałęzienie przedstawia wybór wariantu urządzenia włączanego do linii. Poziom gałęzi określa operację wykonywaną przez urządzenie. Zadanie polega w znajdowaniu najtańszej drogi od górnego poziomu do dolnego. Przy poszukiwaniu warianty są zapamiętywane. Jeśli na niektórych poziomie N droga będzie droższa, niż w już określonym wariantcie to nie jest ona brana pod uwagę.



Rys. 4.20. Zastosowanie metody podziału i ograniczeń do optymalizacji struktury zautomatyzowanej linii

W pierwszym kroku jest wybierany model urządzenia do wykonania pierwszej operacji, zatem drugiej i wszystkich pozostałych operacji, w tym transportowej. Określany jest pierwszy wariant struktury, spełniający warunek wyjściowy. Koszt jego jest przyjmowany jako maksymalnie dopuszczalny $price_{max}$. Przy dalszym poszukiwaniu na każdym rozwidleniu jest porównywany już skumulowany koszt z $price_{max}$. Jeśli otrzymana wartość jest mniejsza, to poszukiwanie jest kontynuowane, w przeciwnym przypadku należy wrócić do rozgałęzienia poprzedniego i kontynuować poszukiwania w innych gałęziach drzewa. W przypadku, kiedy poszukiwanie doszło do końca drzewa $price_{max}$, to koszt

wariantu optymalnego jest równy $price_{max}$. Powtarzane są poprzednie kroki, aż do obejścia całej gałęzi drzewa. Istotnemu zmniejszeniu ulega liczba rozpatrywanych wariantów. Metoda „podziału i ograniczeń” łączy więc w sobie prostotę metody pełnego przeszukiwania i wydajność ukierunkowanej metody poszukiwania.

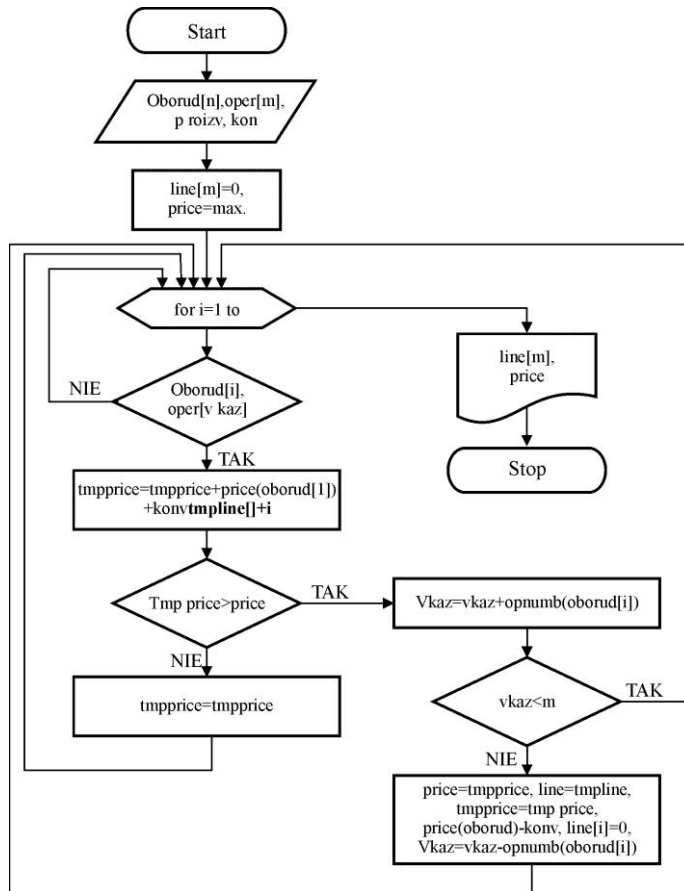
Algorytm pracy modułu określania struktury linii jest przedstawiony na (rys. 4.21). Do pracy zastosowano dwie tablice: „**Oborud(m)**” – tablica urządzeń, zapełniana z pliku danych i „**Oper(n)**” – tablica operacji zapełniana przez użytkownika odpowiednio do realizowanego procesu technologicznego i niezbędnej wydajności. Powstają dwie tablice:

- „**Line(n)**” do kształtowania optymalnej na danym etapie struktury urządzenia. Początkowo jest pusta, czyli zapełniona zerami,
 - „**tmpLine(n)**” zawiera informacje o drodze, w danym momencie.
- Określane są również dwie wielkości zmienne:
- „**Price**”, zawiera skumulowany koszt struktury, który na danym etapie poszukiwania jest optymalny,
 - „**tmpPrice**”, przedstawia koszt drogi przebytej do danego momentu.

Początkowo **Price** przypisuje się maksymalnie możliwą wartość. Po etapie przygotowawczym jest realizowany obchód gałęzi drzewa. Sprawdzane są elementy tablicy **Oborud**, aż do znalezienia elementu strukturalnego, odpowiadającego wymaganej wydajności i wykonania wskazanej operacji. Indeks elementu jest zapisywany **tmpLine**, a zmienna **tmpPrice** jest powiększana o koszt tego elementu strukturalnego. W przypadku, kiedy **tmpPrice** ma większą wartość od **Price** to jest przyjmowana poprzednia wartość **tmpPrice** i **tmpLine** i jest kontynuowane sprawdzanie innych elementów strukturalnych tablicy **Oborud**. W przeciwnym przypadku zwiększana jest wartość operacji potokowej o liczbę operacji wykonywanych na wybranym urządzeniu i proces jest realizowany ponownie na gałęzi na niższym poziomie. Kiedy wskaźnik operacji potokowej wskazuje koniec tablicy **Oper**, to zmiennej **Price** jest przypisywana wartość zmiennej **tmpPrice**, a tablicy **Line** wartość tablicy **tmpLine**. Poszukiwanie jest kontynuowane w dalszym ciągu. Przy osiągnięciu końca tablicy **Oborud** jest realizowane przejście do gałęzi położonej o jeden poziom wyżej. Proces jest powtarzany do momentu osiągnięcia końca ostatniej gałęzi.

Po realizacji algorytmu zmienna **Price**, zawiera więc koszt optymalizacji struktury linii automatycznej, a w tablicy **Oborud** znajduje się spis urządzeń, wchodzących w jej skład. Zgodnie z przedstawionym algorytmem można opracować schemat blokowy optymalizacji struktury linii automatycznej rozlewania napojów (rys. 4.21). Na podstawie algorytmu i schematu blokowego opracowano program, umożliwiający optymalizację, przy pomocy metody „podziału i ograniczeń”, struktury linii zautomatyzowanej. W celu ułatwienia opracowania interfejsu graficznego zastosowano język programowania Borland Delphi 3.

Program można podzielić warunkowo na dwie części: praca z bazami danych operacji i urządzenia oraz poszukiwanie optymalnej struktury linii.



Rys. 4.21. Algorytm optymalizacji struktury linii automatycznej rozlewania napojów metodą „podziału i ograniczeń”

Program pracuje z dwiema bazami danych, dlatego zawiera dwa moduły.

Moduł pracy z bazami danych umożliwia pracę na niskim poziomie z plikami danych. Taka struktura programu umożliwia łatwą zmianę dowolnego modułu, na przykład: przy zmianie użytkownika interfejsu, formatu plików danych, metody poszukiwania czy kryterium oceniania, bez konieczności zmiany pozostałych modułów.

Praca programu. Program współpracuje z dwiema tablicami danych: katalogiem operacji i katalogiem urządzeń. Dane w katalogach są rozdzielone według rodzaju na cztery grupy: do pakowania płynów, materiałów lepkich, sypkich i oddzielnych części. Katalog operacji zawiera tylko nazwę operacji oraz jej rodzaj.

Katalog urządzenia – informację o: nazwie urządzenia, jego rodzaju, koszcie, wydajności i wymiarach gabarytowych, a także spis operacji, wykonywanych na urządzeniu. Przy czym nazwy operacji są brane z katalogu operacji. Zakłada się, że urządzenie wykonuje operacje w określonej kolejności i żadna z nich nie może być pominięta.

Druga część programu, czyli interfejs obliczeniowy, umożliwia określenie optymalnej struktury linii automatycznej. Użytkownik ma możliwość wyboru operacji, które powinny być wykonane na automatycznej linii pakowania oraz ustalenia odpowiedniej ich kolejności, a także rodzaju urządzenia do pakowania, zastosowanego w linii. Można również wprowadzić ograniczenie minimalnie wymaganej wydajności. W takim przypadku program odrzuci warianty o mniejszej wydajności. Jeżeli nie określono wymaganej wydajności to są rozpatrywane wszystkie warianty.

Po wprowadzeniu wszystkich niezbędnych parametrów jest określana optymalna struktura linii. Jeżeli optymalizacja nie umożliwi określenia urządzenia do wykonania procesu technologicznego to program wygeneruje odpowiedni komunikat.

Po pomyślnym przeprowadzeniu procesu optymalizacji na ekranie są wyświetlane wyniki określania struktury linii automatycznej: informacja o operacjach technologicznego procesu, informacja o urządzeniach, w tym o niezbędnej liczbie maszyn pracujących równolegle, a zatem ogólny koszt linii automatycznej, jej wydajność oraz koszt własny produkcji.

Uzyskane wyniki można wydrukować lub zapisać na dysku. Dane są przechowywane w formacie RTF w pełni kompatybilnym z formatem dokumentów w programie Microsoft Word. Jednocześnie można użytkować tylko jeden interfejs. Umożliwia to uniknięcie pewnych błędów, na przykład takich jak: błędne usunięcie informacji z bazy danych, wyjście z programu bez zapisania wyników, a także umożliwia uproszczenie kontroli powiązań w bazie danych.

Analiza wpływu wydajności na koszt linii. Program umożliwia przeprowadzenie analizy zależności wydajności i kosztu.

Analiza nie może być wykonana, jeżeli w spisie operacji technologicznych procesu brakuje chociażby jednej operacji lub też jeżeli są wprowadzone niepoprawne wartości wymaganej wydajności i kosztów przeniesienia. Zatem jest przeprowadzana analiza zależności „wydajność-koszt” w przypadku urządzenia niezbędnego do wykonania procesu technologicznego. Jeśli żadna z linii nie spełnia wymagań niezbędnych do realizacji procesu technologicznego jest generowany komunikat „Żadna linia nie spełnia warunków”. Przy przeprowadzaniu analizy należy określić liczbę wariantów i rodzaj analizy.

4.5.3. Optymalizacja struktury linii technologicznej metodą „podziału i ograniczeń”

Efektywność jakichkolwiek skomplikowanych systemów, do których należą praktycznie całe zautomatyzowane linie pakowania, w dużej mierze zależy od prawidłowości wyboru urządzeń: podstawowych, pomocniczych i transportowych oraz ich rozmieszczenia. Poszukiwanie optymalnej struktury zautomatyzowanej linii pakowania, która w większości przypadków jest budowana w oparciu o seryjne urządzenia technologiczne i transportowe jest ważnym etapem tworzenia nowych systemów. Przy projektowaniu zautomatyzowanej linii pakowania bardzo istotny jest właściwy dobór i koordynacja funkcjonalna urządzeń podstawowych i transportowych, realizujących określony procesem technologiczny pakowania i zakres operacji z określoną wydajnością. Pośród dużej liczby możliwych wygenerowanych wariantów na etapie ich oceniania jest wprowadzane integralne kryterium optymalizacji, umożliwiające określenie najefektywniejszego wariantu struktury technologicznej linii.

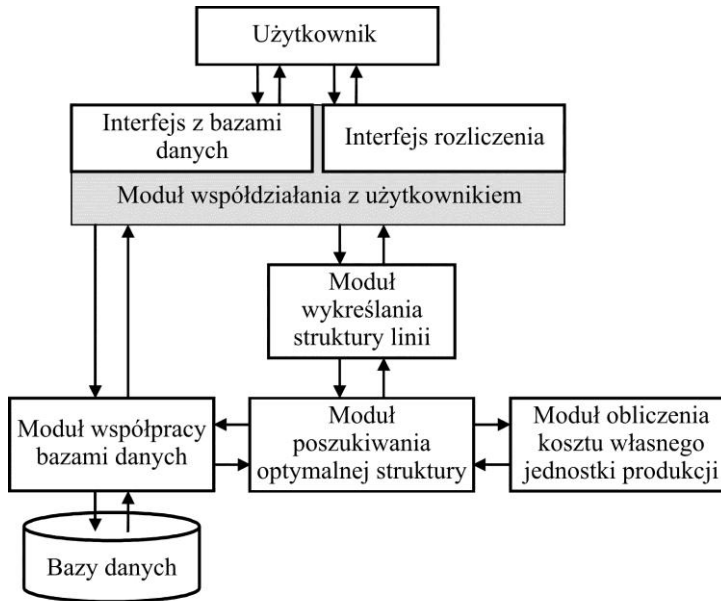
Do oceny wariantu struktury wybrany został integralny wskaźnik efektywności funkcjonowania linii automatyzowanej, a mianowicie koszt jednostki produkcji. Wskaźnik ten umożliwia ocenę nie tylko charakterystyk technicznych zautomatyzowanej linii (wydajność, niezawodność, trwałość, jakość wyrobów), lecz również ekonomicznych (koszt sprzętu, energo- i pracochłonność produkcji wyrobu itp.). Najefektywniejszym wariantem struktury linii zautomatyzowanej jest wariant o najmniejszych kosztach produkcji.

Realizacja programowa określania optymalnej struktury zautomatyzowanej linii pakowania opiera się na strukturze modułowej, czyli na poszczególnych niezależnych częściach.

Zawiera takie moduły jak: moduł współdziałania z użytkownikiem, moduł określania struktury linii, moduł poszukiwania optymalnej struktury, moduł obliczania kosztu własnego jednostki produkcji oraz moduł współpracy z bazami danych. Schemat związków strukturalnych pomiędzy modułami programu jest przedstawiony na rys.4.22.

Moduł współdziałania z użytkownikiem można warunkowo podzielić na interfejs współpracy z bazami danych, który umożliwia użytkownikowi przeglądanie, redagowanie i usuwanie danych z bazy, a także kontrolę poprawności wprowadzenia oraz interfejs obliczeniowy, pozwalający użytkownikowi wprowadzanie niezbędnych parametrów oraz wyprowadzanie wyników.

Moduł określania struktury w oparciu o parametry wyjściowe modułu w interakcji z użytkownikiem – na podstawie wyników pracy modułu poszukiwania optymalnej struktury zautomatyzowanej linii, jest określana struktura linii zautomatyzowanej.



Rys. 4.22. Schemat współdziałania modułów w programie

Moduł poszukiwania optymalnej struktury jest realizacją programową metody „podziału i ograniczeń”. Dane są pobierane z modułu współpracy z bazami danych, a przy obliczaniu udzielonych kosztów uogólnionych – z odpowiednich modułów. Optymalizacja struktury jest realizowana poprzez generowanie zbioru wszystkich możliwych wariantów strukturalnych, na które są nakładane pewne ograniczenia, na przykład: określona wydajność – ich ocena i wybór są dokonywane w oparciu o kryterium kosztu własnego produkcji.

Warianty struktury zautomatyzowanej linii są przedstawione w postaci drzewa z rozgałęzieniami na każdej operacji wykonywanej w linii [4.31, 4.34]. Zastosowano tablicę zawierającą wykaz urządzeń oraz blok kalkulacji kosztów produkcji – od początku realizacji wyrobu do danej operacji. Każde rozgałęzienie jest wyborem wariantu urządzenia, włączanego do linii zautomatyzowanej, a jego poziom określa wykonywaną operację. Mechanizm optymalizacji polega na znajdowaniu najkrótszej drogi od najwyższego poziomu do najniższego, przy czym na każdym poziomie jest określana wartość skumulowanego kosztu produkcji. Wszystkie warianty są zapisywane. Jeżeli na analizowanym poziomie skumulowany koszt własny produkcji jest większy niż w wariantcie już określonym, to ta gałąź i wszystkie gałęzie poboczne nie są rozpatrywane.

W pierwszym kroku jest wybierany model urządzenia do wykonania operacji pierwszej, drugiej i pozostałych. Następnie należy zdefiniować, w przypadku pierwszego wariantu struktury, ograniczenia odnośnie wydajności oraz kosztów produkcji. Tę wartość kosztów produkcji przyjmuje się, jako maksymalnie dopuszczalną.

Poszukiwania są przeprowadzane w taki sposób, że na każdym rozgałęzieniu porównuje się dotychczasowy koszt z maksymalnym kosztem produkcji. Jeśli otrzymana wartość jest mniejsza od maksymalnej, to poszukiwanie jest kontynuowane – w przeciwnym przypadku powraca się do poprzedniego rozgałęzienia i następuje przejście na kolejną gałąź drzewa. Jeżeli został osiągnięty koniec gałęzi drzewa to wartość maksymalnego kosztu produkcji jest przypisywana do wariantu, zatem są powtarzane poprzednie kroki, aż do obejścia wszystkich gałęzi drzewa.

Schemat blokowy modułu realizowany według metody podziału i ograniczeń jest przedstawiony na rys. 4.23.

Moduł obliczenia kosztu własnego produkcji. Do oceny struktury zautomatyzowanej linii zastosowano integralny wskaźnik efektywności jej funkcjonowania, a mianowicie koszt własny produkcji W . Wskaźnik ten umożliwia ocenę technicznych charakterystyk zautomatyzowanej linii (wydajności, sprawności, długowieczności, jakości wyrobów) oraz ekonomicznych (kosztu urządzeń, energo- i pracochłonności wyrobu itp.).

Najefektywniejszy jest wariant struktury zautomatyzowanej linii, umożliwiający uzyskanie najmniejszych kosztów produkcji W . Koszt produkcji W można wyznaczyć z zależności:

$$w = \sum_{i=1}^M \left(1,15 \cdot T \cdot a_i \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i}{N_p} \cdot a_i \right) + 0,15 \sum_{i=1}^M \frac{a_i \cdot A_i}{N_p}, \quad (4.49)$$

gdzie: N_F – roczny program produkcyjny,

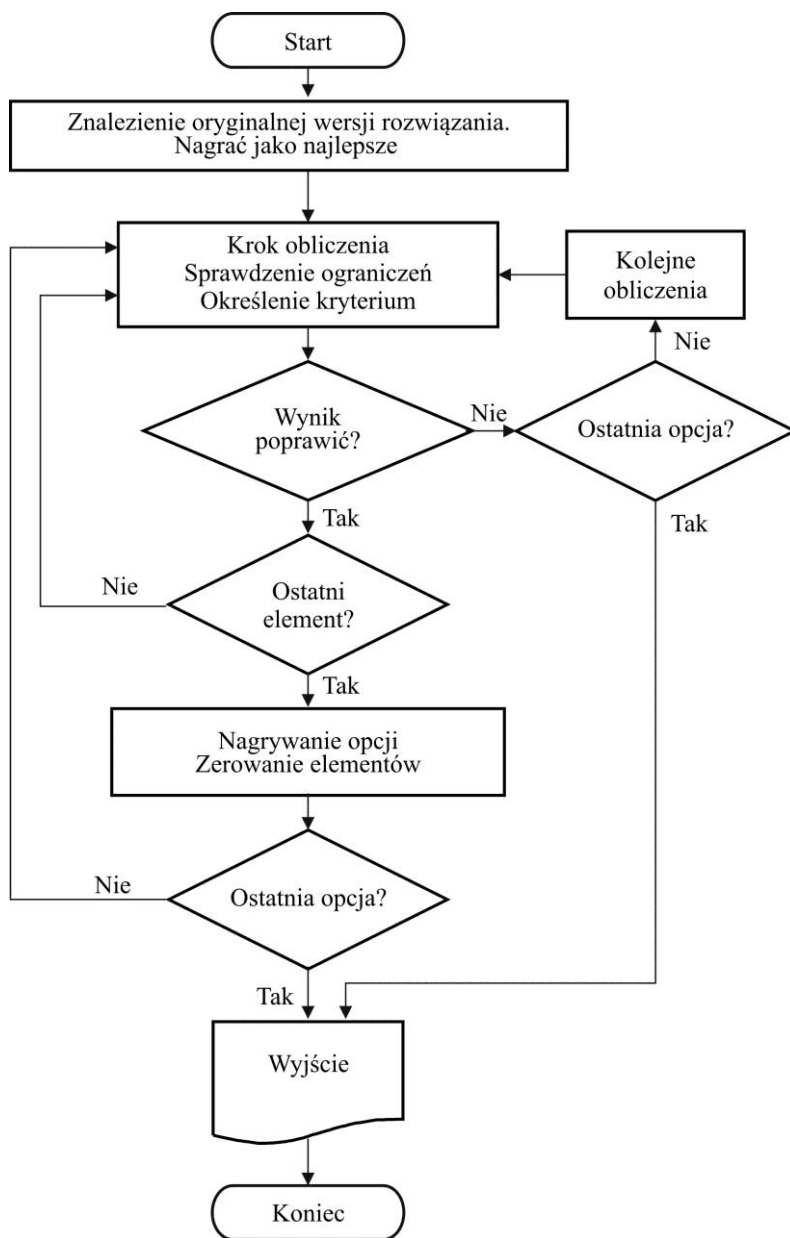
S_p – minutowe wynagrodzenie pracownika,

A – koszt urządzenia,

a – liczba urządzeń równoległe wykonujących operację,

T – czas trwania cyklu roboczego,

M – liczba stanowisk roboczych (operacji technologicznych) w linii.



Rys 4.23. Schemat blokowy ukierunkowanego poszukiwania optymalnego wariantu zautomatyzowanej linii metodą podziału i ograniczeń

minimalizujących funkcję celu:

$$F = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \Rightarrow \min. \quad (4.51)$$

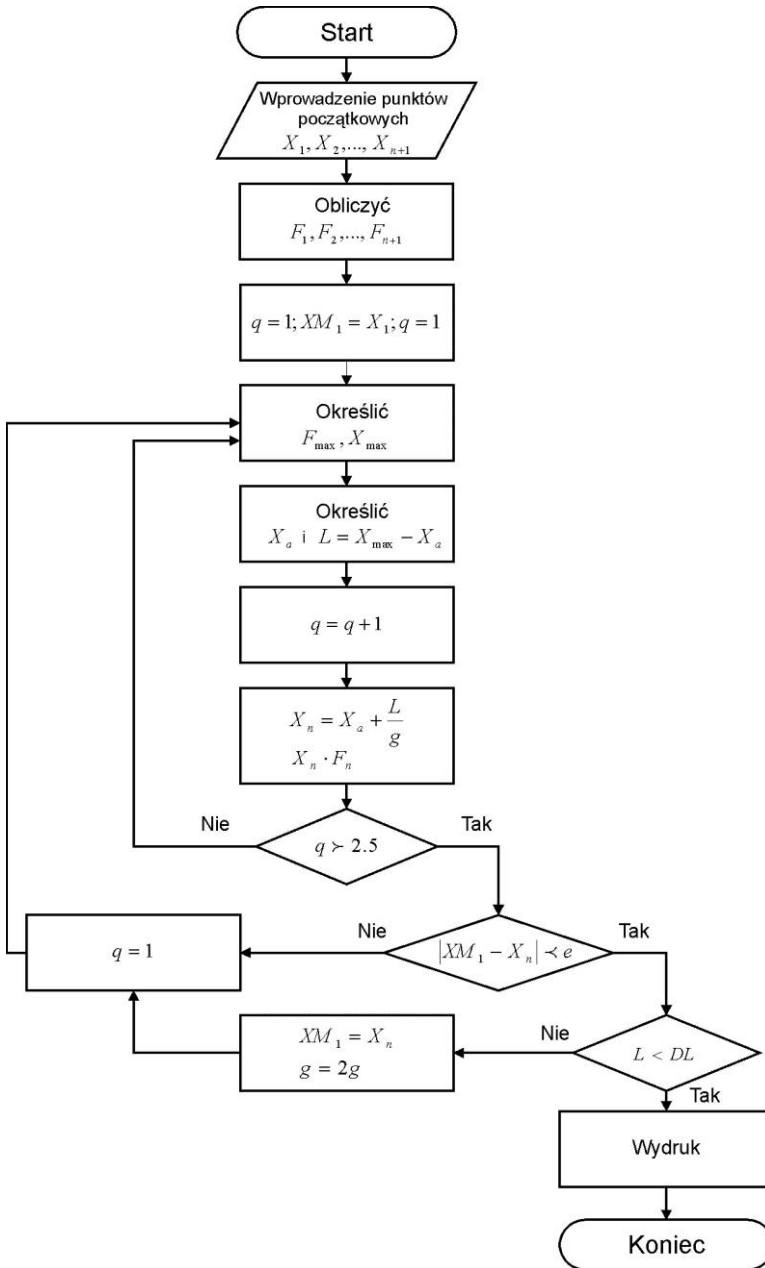
Ponieważ otrzymana macierz $A_{n,m}$ jest unimodalna, to zmienne X_i mogą przyjmować tylko całkowite wartości, a ponieważ wszystkie pozostałe są równe jedności, to $0 \leq X_i \leq 1$. Zmienne X_i przyjmują więc wartość 0 lub 1. System jest, więc kanonicznym zadaniem programowania liniowego, które można w sposób efektywny rozwiązać metodą simpleks. Jako simpleks w n -wymiarowej przestrzeni rozumie się wielościan o $n+1$ wierzchołkach. Przykładem simpleksu w przestrzeni dwuwymiarowej, czyli na płaszczyźnie, jest trójkąt. W przestrzeni trójwymiarowej – czworościan. Simpleks ma następującą właściwość – przed jakimkolwiek z jego wierzchołków S_j znajduje się tylko jedna ściana, na której można zbudować nowy simpleks, różniący się od poprzedniego rozmieszczeniem nowego wierzchołka \tilde{s}_j , podczas gdy reszta wierzchołków obu simpleksów pokrywa się. Wierzchołek nowego simpleksu \tilde{s}_j , może znajdować się również po drugiej stronie ściany od wierzchołka S_j . Ta właściwość simpleksu uwarunkowała możliwość jego zastosowania przy rozwiązaniu zadań optymalizacji.

Niech wierzchołkom simpleksu wyjściowego $S_i (i=1, 2, \dots, n+1)$ odpowiadają współrzędne $U=(U_1, U_2, \dots, U_n)$, ($i=1, 2, \dots, n+1$). Najmniejsza wartość funkcji celu odpowiada wierzchołkowi S_{j_s} . Wyznacza się współrzędne wierzchołka S_j nowego simpleksu. Wierzchołek S_j jest umieszczony symetrycznie do wierzchołka S_{j_s} względem środka ściany, znajdującej się naprzeciw wierzchołka S_{j_s} . Współrzędne środka tej ściany można określić z zależności:

$$\bar{U}^{(A)} = \frac{1}{n} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n+1} \bar{U}^{(i)}. \quad (4.52)$$

Sumowanie jest wykonywane tylko w przypadku wektorów U , odpowiadających wierzchołkom $S^{(i)}$, tworzących tę ścianę. Wektor L , charakteryzujący odległość od wierzchołka S_{j_s} do centrum przeciwległej ściany jest równy:

$$L = \bar{U}^{(A)} - \bar{U}^{(j)}. \quad (4.53)$$



Rys. 4.24. Algorytm poszukiwania optymalnej struktury linii automatycznej simpleks metodą

Współrzędne wierzchołka S_j można określić z zależności:

$$\tilde{U}^{(j)} = \bar{U}^{(A)} + L = 2 \cdot \bar{U}^{(A)} - \bar{U}^{(j)}. \quad (4.54)$$

Podstawiając do wzoru zależność określającą $\bar{U}^{(A)}$ otrzymuje się:

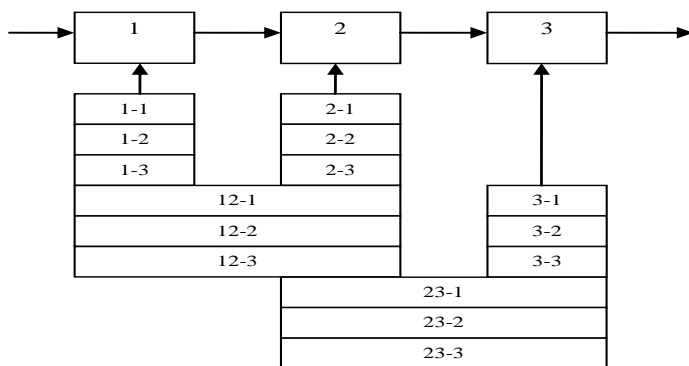
$$\tilde{U}^{(j)} = \frac{2}{n} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n+1} \bar{U}^{(i)} - \left(1 + \frac{2}{n}\right) \bar{U}^{(j)}. \quad (4.55)$$

Zależność określa współrzędne wierzchołka S_j nowego simpleksu. Przy konieczności zmniejszenia wymiarów simpleksu (w przypadku zapętlenia w okolicy punktu optymalności) można zastosować następujące wyrażenie:

$$L = \bar{U}^{(A)} + \frac{1}{2}L = \frac{3}{2}\bar{U}^{(A)} - \frac{1}{2}\bar{U}^{(j)}. \quad (4.56)$$

Metoda Simpleks ma istotną zaletę – wraz z wzrostem wymiarowości zadania obliczeniowego koszty rosną w niewielkim stopniu, ponieważ na każdym kroku jest określana tylko jedna wartość funkcji celu. Po zastosowaniu metody Simpleks otrzymuje się wektor (X_1, X_2, \dots, X_n) , w którym $X_i = 1$, jeśli jednostka urządzenia K_i wchodzi w skład linii i $X_i = 0$ w przeciwnym przypadku.

Wyjściowe warunki zadania w sposób schematyczny zostały przedstawione na rys. 4.25.



Rys. 4.25. Model optymalizacji linii pakowania: 1 – dawkowanie, 2 – napelnianie, 3 – korkowanie

Należy zaprojektować linię zautomatyzowaną do pakowania lepkich produktów w szklane butelki o wydajności 6000 butelek na godzinę. Jako kryterium optymalności przyjęto koszt technologiczny jednostki produkcji. Na linii jest wykonywany roboczy proces technologiczny pakowania, składający się z 3 głównych operacji: dawkowania, napełniania, korkowania butelek. Baza danych zawiera urządzenia produkowane seryjnie przez przemysł, ich koszt jest uwarunkowany kosztami realizacji operacji (tab. 4.2).

Po zastosowaniu przedstawionej metody budowy układu równań liniowych otrzymano:

$$\begin{cases} X_{1-1} + X_{1-2} + X_{1-3} + X_{12-1} + X_{12-2} + X_{12-3} = 1, \\ X_{2-1} + X_{2-2} + X_{2-3} + X_{12-1} + X_{12-2} + X_{12-3} + X_{23-1} + X_{23-2} + X_{23-3} = 1, \\ X_{3-1} + X_{3-2} + X_{3-3} + X_{23-1} + X_{23-2} + X_{23-3} = 1, \end{cases} \quad (4.57)$$

a funkcję liniową w postaci:

$$\begin{aligned} F(X) = & 0,184916X_{1-1} + 0,230403X_{1-2} + 0,230434X_{1-3} + 0,29143X_{2-1} + \\ & + 0,232269X_{2-2} + 0,046504X_{2-3} + 0,047614X_{3-1} + 0,052051X_{3-2} + \\ & + 0,047099X_{3-3} + 0,095146X_{12-1} + 0,047714X_{12-2} + 0,048521X_{12-3} + \\ & + 0,096074X_{23-1} + 0,150102X_{23-2} + 0,094743X_{23-3} \Rightarrow \min. \end{aligned} \quad (4.58)$$

Przyjmując X_{1-1} , X_{2-1} , X_{3-1} – jako początkowe rozwiązanie bazowe, uzyskuje się system:

$$\begin{cases} X_{1-1} = 1 - X_{1-2} - X_{1-3} - X_{12-1} - X_{12-2} - X_{12-3}; \\ X_{2-1} = 1 - X_{2-2} - X_{2-3} - X_{12-1} - X_{12-2} - X_{12-3} - X_{23-1} - X_{23-2} - X_{23-3}; \\ X_{3-1} = 1 - X_{23-1} - X_{23-2} - X_{23-3} - X_{3-2} - X_{3-3}. \end{cases} \quad (4.59)$$

Podstawiając zmienne niebazowe zamiast bazowych, otrzymuje się:

$$\begin{aligned} F(X) = & 0,523959 + 0,045488X_{1-2} + 0,045518X_{1-3} - 0,05916X_{2-2} - \\ & - 0,244925X_{2-3} + 0,004437X_{3-2} - 0,000514X_{3-3} - 0,470968X_{12-1} - \\ & - 0,565832X_{12-2} - 0,564219X_{12-3} - 0,438324X_{23-1} - 0,330269X_{23-2} - \\ & - 0,440987X_{23-3}. \end{aligned} \quad (4.60)$$

Tab. 4.2. Charakterystyki urządzeń do pakowania produktów lepkich

Nazwa operacje	Nazwa urządzenia	Kod	Wydajność w butelkach na godzinę	Orientacyjna cena w jednostkach umownych	Względny koszt własny
Dawkowanie	Dawkowanie automatyczne produktów płynnych i lepkich UFP-25DA	X_{1-1}	1500	2270	0,184916
	Dawkowanie półautomatyczne produktów płynnych i lepkich UD-2(250)	X_{1-2}	1200	800	0,230403
	Dawkowanie półautomatyczne produktów płynnych i lepkich UD-2(500)	X_{1-3}	1200	860	0,230434
Paczkowanie	Automat napełniający W2-FNA	X_{2-1}	1000	25500	0,29143
	Półautomat do paczkowania produktów lepkich	X_{2-2}	1200	4500	0,232269
	Automat napełniający B4-KNP	X_{2-3}	7200	5000	0,046504
Korkowanie	Maszyna korkująca B4-K3K- 78	X_{3-1}	9600	16000	0,047614
	Maszyna korkująca B4-KZK- 84	X_{3-2}	12000	60000	0,052051
	Automat korkujący B4-KZK-79A	X_{3-3}	7200	10900	0,047099
Dawkowanie i paczkowanie	Automat do dawkowania i paczkowania produktów płynnych i lepkich DN2-01-160	X_{12-1}	4800	15600	0,095146
	Automat do dawkowania i paczkowania produktów płynnych i lepkich DN2-03-250	X_{12-2}	7500	17000	0,047714
	Automat do dawkowania i paczkowania produktów płynnych i lepkich DN3-03-250	X_{12-3}	15000	25000	0,048521
Paczkowanie i korkowanie	maszyna paczkująco-korkująca MFUB-03/380-8	X_{23-1}	3000	20200	0,096074
	Maszyna paczkująco-korkująca „Fasana 30/8”	X_{23-2}	2100	40000	0,150102
	Maszyna paczkująco-korkująca „Pastpak WK”	X_{23-3}	3750	13600	0,094743

Funkcja liniowa ma współczynniki ujemne, a więc otrzymane rozwiązanie nie jest optymalne, trzeba zmienić zmienne bazowe. Wykonano to w przypadku podstawowej wielkość X_{12-2} , ponieważ ma ona najmniejszy współczynnik. Zmienną bazową X_{2-1} przekształcono na zmienną niebazową. W wyniku otrzymano układ równań:

$$\begin{cases} X_{1-1} = -X_{1-2} - X_{1-3} + X_{2-1} + X_{2-2} + X_{2-3} + X_{23-1} + X_{23-2} + X_{23-3}, \\ X_{12-2} = 1 - X_{2-1} - X_{2-2} - X_{2-3} - X_{12-1} - X_{12-3} - X_{23-1} - X_{23-2} - X_{23-3}, \\ X_{3-1} = 1 - X_{3-2} - X_{3-3} - X_{23-1} - X_{23-2} - X_{23-3}. \end{cases} \quad (4.61)$$

Można, więc zapisać:

$$\begin{aligned} F(X) = & 0.280244 + 0.045488X_{1-2} + 0.045518X_{1-3} + 0.904976X_{2-1} + \\ & + 0.78665X_{2-2} + 0.415125X_{2-3} + 0.004437X_{3-2} - 0.000514X_{3-3} + \\ & + 0.047432X_{12-1} + 0.000807X_{12-3} + 0.699927X_{23-1} + 0.998473X_{23-2} + \\ & + 0.832488X_{23-3}. \end{aligned} \quad (4.62)$$

Teraz X_{3-3} jest zamieniane na bazowe, a X_{3-1} na niebazowe:

$$\begin{cases} X_{1-1} = -X_{1-2} - X_{1-3} + X_{2-1} + X_{2-2} + X_{2-3} + X_{23-1} + X_{23-2} + X_{23-3}; \\ X_{12-2} = 1 - X_{2-1} - X_{2-2} - X_{2-3} - X_{12-1} - X_{12-3} - X_{23-1} - X_{23-2} - X_{23-3}; \\ X_{3-3} = 1 - X_{3-2} - X_{3-1} - X_{23-1} - X_{23-2} - X_{23-3}. \end{cases} \quad (4.63)$$

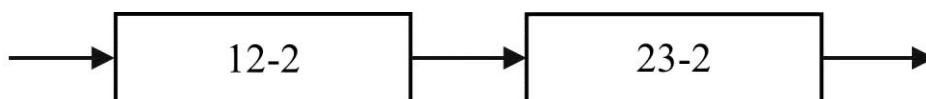
Wtedy:

$$\begin{aligned} F(X) = & 0,279729 + 0,045488X_{1-2} + 0,045518X_{1-3} + 0,904976X_{2-1} + \\ & + 0,78665X_{2-2} + 0,415125X_{2-3} + 0,004952X_{3-2} + 0,000514X_{3-1} + \\ & + 0,047432X_{12-1} + 0,000807X_{12-3} + 0,700442X_{23-1} + 0,998987X_{23-2} + \\ & + 0.833002X_{23-3}. \end{aligned} \quad (4.63)$$

W funkcji liniowej wszystkie współczynniki są dodatnie, więc otrzymany wariant struktury linii jest optymalny ($X_{12-2} = 1$, $X_{3-3} = 1$, a pozostałe zmienne są równe zero). Uzyskane urządzenia linii są przedstawione w tablicy 4.3, a struktura linii na rys. 4.26

Tab. 4.3. Struktura linii do pakowania produktów lepkich

Kod	Nazwa urządzenia	Wydajność butelek/h	Cena orientacyjna w jednostkach umownych	Wykonywane operacje
12-2	Półautomat do dawkowania produktów płynnych i lepkich UD-2(250)	1200	4800	dawkowanie paczkowanie
23-2	Maszyna paczkująco-korkująca „Pastpak WK”	3750	13600	korkowanie



Rys. 4.26. Schemat linii do pakowania produktów lepkich w szklane butelki:
12-2 – półautomat do dawkowania produktów płynnych i lepkich;
23-3 – maszyna do dawkowania i korkowania produktów płynnych i lepkich „Pastpak WK”

4.6. Wizualizacja struktury ESP

4.6.1. Zasady budowy modeli 3-D sprzętu technologicznego

Modele 3-D urządzeń technologicznych powstają poprzez połączenie ich elementów. Dowolny system modelowania 3-D umożliwia automatyczne albo ręczne rozmieszczenie połączonych elementów przy odpowiednim ich powiązaniu [4.27].

Umożliwia to, przy syntezie struktury maszyny, utworzenie jej zestawiania z typowych urządzeń funkcjonalnych [4.29], a przy syntezie struktury ESP z typowych maszyn technologicznych, jako jej komponentów [4.33]. Do opracowania zestawiania projektant może wykorzystać typowe schematy technologiczne maszyn lub linii, uzyskane na etapie projektowania funkcjonalnego albo zamieszczone w katalogach [4.28].

Jednym z końcowych etapów projektowania maszyn technologicznych i ESP jest modelowanie 3-D ich konfiguracji, jako opisu powiązań przestrzennych między ich elementami. Modele tych konfiguracji różnią się szczegółowością ich elementów. Poziom szczegółowości opisują modele elektroniczne (komputerowe): konfiguracja 3-D modelu i 3-D modele konfiguracyjnego.

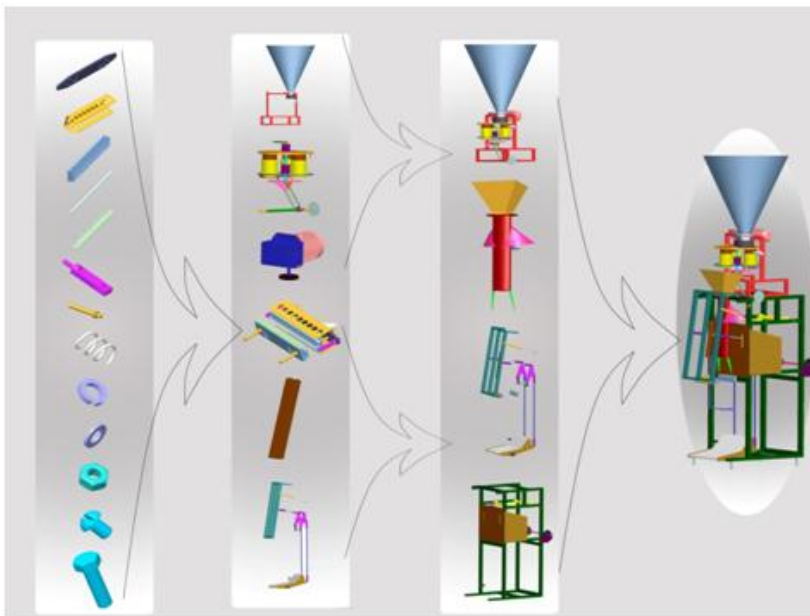
Model elektroniczny jednostki montażu umożliwia prezentację rozmieszczenia i powiązań części maszyny, łączonych w jednostkę montażową oraz

zawiera informacje, wystarczające do przeprowadzenia montażu i kontroli jednostki montażowej. Elektroniczne modele części, wchodzące w skład elektronicznego modelu jednostki montażowej, zaleca się włączać do tego modelu, jako modele samodzielne, rozmieszczając je w układzie współrzędnych modelu jednostki montażu i określając dane o ich lokalizacji.

Makieta elektroniczna jest rodzajem elektronicznego modelu wyrobu, umożliwiającemu ocenę współdziałania elementów wyrobu przedstawionego w postaci makiety lub wyrobu ogólnie z elementami otoczenia produkcyjnego i/lub eksploatacyjnego. Jest ona opracowywana w poszczególnych etapach projektowania i nie posiada wystarczających danych do produkcji czy montażu wyrobu.

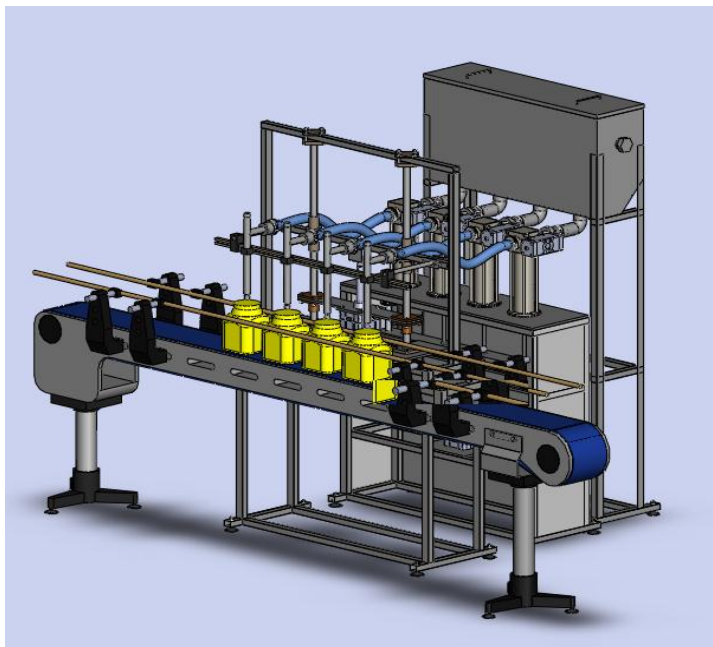
W procesie projektowania modeli elektronicznych 3-D konfiguracji maszyn technologicznych można wyodrębnić trzy procedury główne:

- opracowanie 3-D modeli wszystkich elementów funkcjonalnych, z których będzie zestawiana przyszła maszyna,
- synteza 3-D modelu konfiguracji maszyny z 3-D modeli elementów funkcjonalnych (rys. 4.27),
- wykonanie rysunków, z naniesieniem wymaganych wymiarów, niezbędnych elementów zaprojektowanej maszyny [4.27].



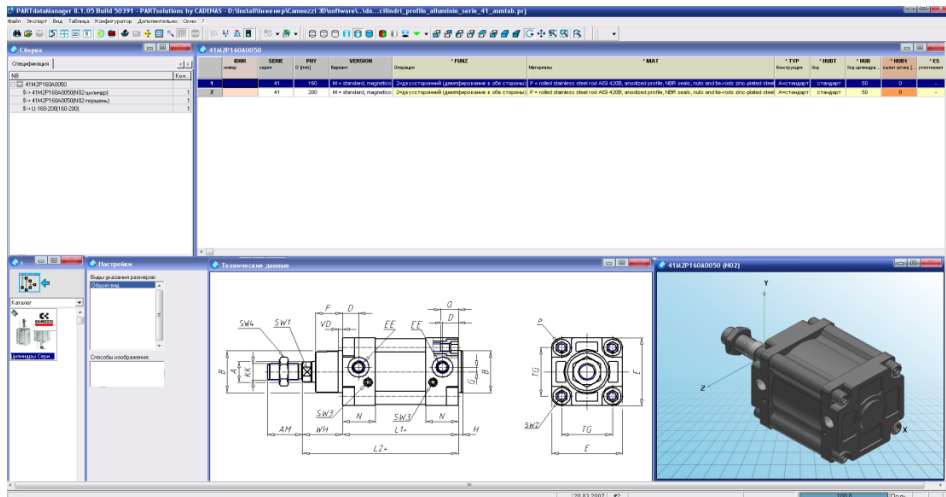
Rys. 4.27. Schemat kształtowania maszyny do pakowania produktów sypkich

Stopień trudności wykonania elektronicznych modeli maszyn ilustruje model 3-D maszyny do automatycznego pakowania produktów lepkich (rys.4.28), zawierającej około dwustu pięćdziesięciu części, z których są utworzone węzły i węzły podrzędne. Przy pomocy systemu oznaczeń elementów z różnych poziomów hierarchicznych jest budowany schemat strukturalny modeli elektronicznych, które umożliwiają utworzenie maszyny. W pierwszej kolejności są kodowane oznaczenia bloków elementów funkcjonalnych, następnie elementy małe, aż do zakodowania poszczególnych części.



Rys. 4.28. Model 3-D maszyny technologicznej do pakowania produktów lepkich

Programy do projektowania 3-D umożliwiają zastosowanie elektronicznych wersji katalogów multimedialnych 2D/3D, opracowanych przez producentów typowych elementów funkcjonalnych maszyn technologicznych. Jako przykład, można pokazać zastosowanie elektronicznego katalogu elementów pneumatycznych firmy Camozzi (rys. 4.29).



Rys. 4.29. Przykład modelu 3-D silownika pneumatycznego

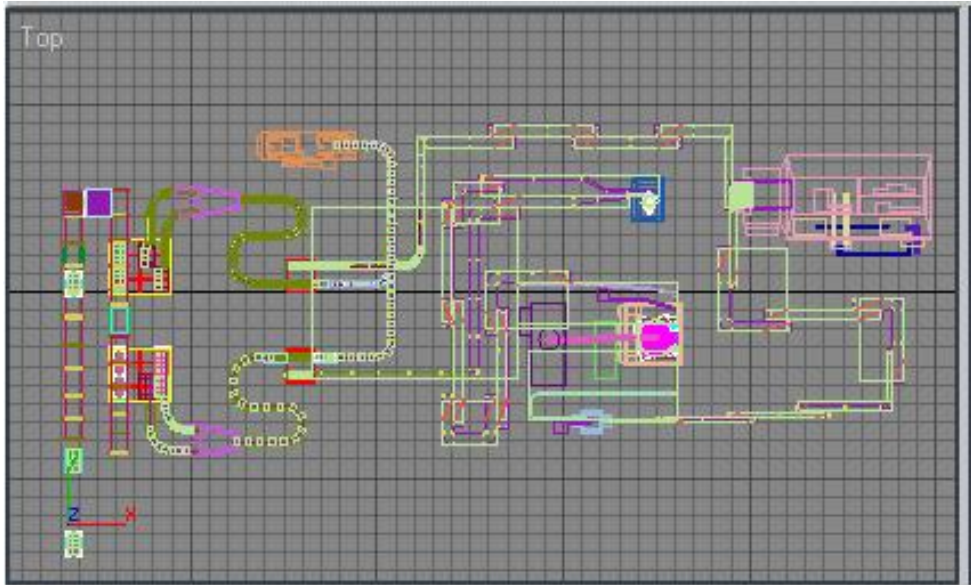
Katalog umożliwia projektantowi zastosowanie modeli 3-D elementów pneumatycznych i urządzeń pomocniczych. Elektroniczna makieta obiektu może być wstawiona bezpośrednio do konfiguracji maszyny. Modele 3-D zawierają wszystkie niezbędne charakterystyki geometryczne i parametryczne, umożliwiające sprawdzenie ich współdziałania geometrycznego z innymi elementami urządzenia.

4.6.2. Budowa makiet elektronicznych 3-D konfiguracji linii technologicznych

Makieta elektroniczna jest wykonywana w pewnym uproszczeniu, odpowiadającym celowi jej utworzenia. Szczegółowość jej powinna być wystarczająca do przedstawienia zarysu zewnętrznego wyrobu oraz rozmieszczenia jego części. Dokładność budowy makiety musi być dostateczna do wyznaczenia wymiarów gabarytowych wyrobu.

Zadanie projektowania linii automatycznej jest dosyć skomplikowane. Wynika to z tego, że w skład linii wchodzi duża ilość elementów: automaty do pakowania, urządzenia transportowe, pojemniki, opakowania itp.

Pierwszym etapem projektowania jest utworzenie schematu technologicznego linii automatycznej, na przykład do rozlewania piwa w szklane butelki (rys. 4.30).



Rys. 4.30. Schemat technologiczny linii automatycznej do rozlewania piwa

Tworzenie relacji przestrzennych ESP kształtuje jego konfigurację. W podstawę kształtowania relacji przestrzennych założono zastosowanie odpowiedniego systemu 3-D modelowania obiektów geometrycznych. Na rysunku określono schemat rozmieszczenia automatów do pakowania, trasy przemieszczania produkcji i pojemników. Na podstawie schematu linii automatycznej są budowane modele trójwymiarowe urządzeń technologicznych linii (automaty paczkująco-korkujące, urządzenia do nanoszenia etykiet i automaty kontrolne, maszyny do mycia pojemników i butelek, automaty do wyjmowania i wkładania butelek do pojemników).

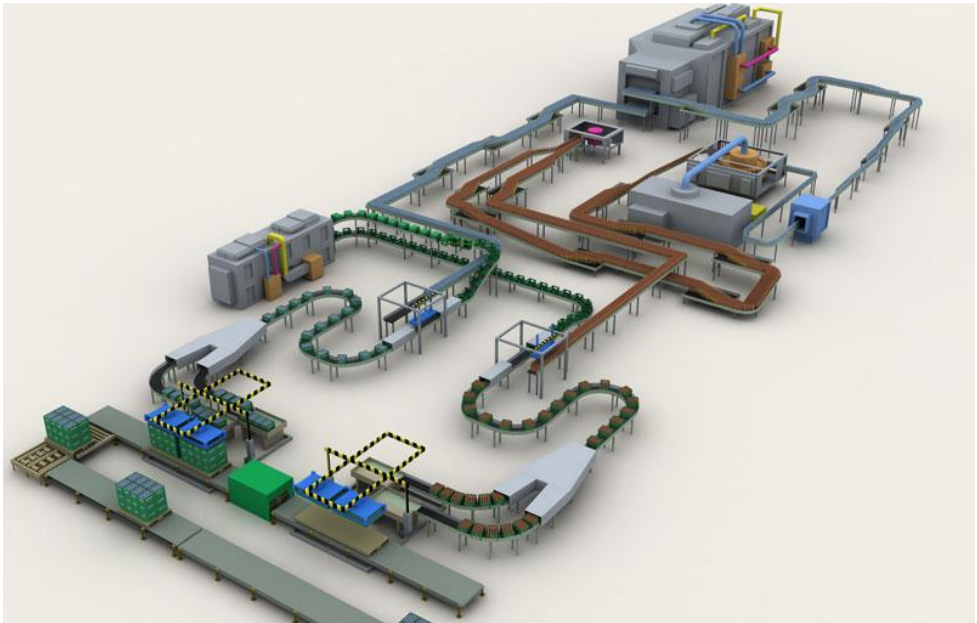
W zależności od konstrukcji modelu maszyny technologicznej dowolny system 3-D modelowania umożliwi utworzenie rodziny podobnych modeli, które mogą różnić się od siebie wymiarami geometrycznymi, materiałem, występowaniem lub brakiem niektórych elementów geometrycznych. Przy pomocy menu „Układu elementów” można operować makietą maszyny – przemieszczać ją lub obracać, odpowiednio do wybranego wariantu rozmieszczenia.

Następnym zadaniem było połączenie automatów w linię przy pomocy urządzeń transportowych. W zależności od schematu, była dobrana grupa transporterów o różnych parametrach długości i szerokości powierzchni transportowej, kątach skrętu itp. (rys. 4.31).



Rys. 4.31. Model 3-D systemu transportowego linii automatycznej

Ostatnim etapem była wizualizacja utworzonego modelu (rys. 4.32).



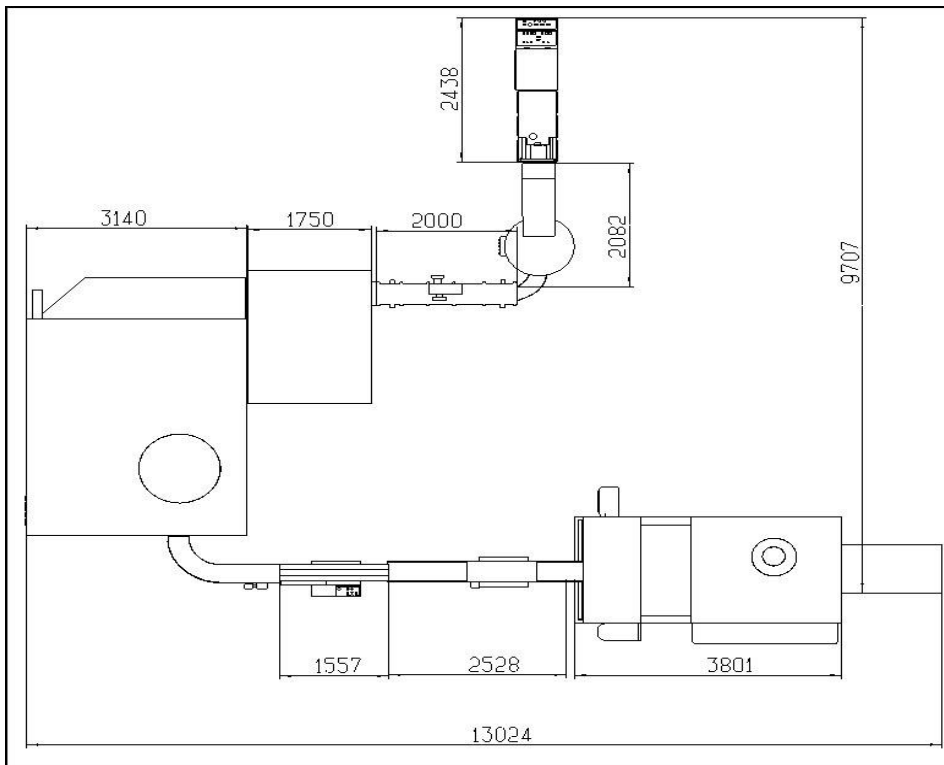
Rys. 4.32. Model 3-D linii automatycznej do pakowania piwa

Zostały wybrane odpowiednie urządzenia transportowe i rozmieszczone zgodnie ze schematem, co umożliwiło połączenie ze sobą automatów do pakowania. Należy uwzględnić, że trajektorie przemieszczania produkcji mogą się częściowo pokrywać. W tych miejscach należy rozmieścić środki transportowe pionowo, tworząc dwu i trzywarstwowe przecięcia potoków.

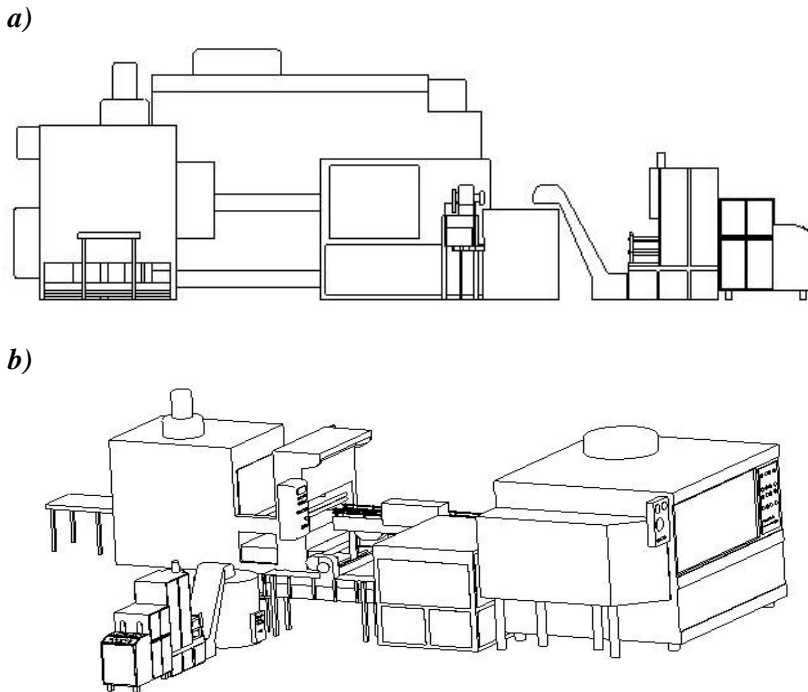
Po skomponowaniu z utworzonych elementów linii, można patrzeć na nią pod dowolnym kątem, obracać, zbliżać lub oddalać.

4.6.3. Opracowanie, na podstawie modeli 3-D, dokumentacji konstrukcyjnej

Moduł rysunkowy systemów modelowania 3-D jest stosowany do wykonywania rysunków części i jednostek montażowych.




Rys. 4.33. Konfiguracja linii do rozlewania mleka w butelki PET – widok z góry



**Rys. 4.33. Konfiguracja linii do rozlewania mleka w butelki PET:
a) widok z boku, b) aksonometria**

Do **kompletu dokumentów konstrukcyjnych** zalicza się: rysunki części, rysunki montażowe, specyfikacje, różne rodzaje schematów i jeśli to konieczne rysunki zestawieniowe i inne dokumenty. Rysunki są dwukierunkowo powiązane z modelem. Oznacza to, że zmiana wymiaru rysunku powoduje zmianę modelu 3-D.

Części i akcesoria są wprowadzane automatycznie do tablicy specyfikacji (rys. 4.34). System sortuje je według parametrów „Nazwa” i „Oznaczenie”. Po utworzeniu tablicy na rysunku można utworzyć pozycje z odpowiednim oznaczeniem elementów specyfikacji.



№	Обозначение	Назначение	З	Количество	№	Обозначение	Назначение	З	Количество
	Деталь	Деталь				Деталь	Деталь		
	Деталь	Деталь				Деталь	Деталь		
	Деталь	Деталь				Деталь	Деталь		
А.1	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
А.2	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
	Деталь	Деталь				Деталь	Деталь		
А.3	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
А.4	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
А.5	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
А.6	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
А.7	Деталь	Деталь	1			Деталь	Деталь	1	
	Деталь	Деталь				Деталь	Деталь		
7	Деталь	Деталь	2			Деталь	Деталь	2	

Rys. 4.34. Specyfikacje

LITERATURA

- [4.1] А.с. 1646702, МКИ В 23 В 31/20. Цанговый патрон / Пальчевский Б.А., Гонтаревский С.И., Пеклич З.И., Корбецкий Р.В., Высоцкий В.А. (СССР). № 4719688/08; Заявлено 19.05.89; Оpubл. 07.05.91, Бюл. № 17, 3 с.
- [4.2] А.с. 1803232, МКИ В 21 D 35/00. Устройство для изготовления деталей из ленты и их сборки со штучными деталями/ Пальчевский Б.А. (СССР). № 4765539/27; Заявлено 04.12.89; Оpubл. 23.03.93, Бюл. № 11, 9 с.
- [4.3] А.с. 1428084 СССР, МКИ Н 01 С 17/00. Способ сборки переменных резисторов / Пальчевский Б.А (СССР).- №3988175/24-21; Заявлено 09.12.85; Оpubл. 08.10.89, Бюл. № 38, 5 с.
- [4.4] А.с. 1697941 СССР, МКИ В 21 D 35/00, 37/08. Устройство для вырубке детали из ленты и ее сборки с другой деталью/ Пальчевский Б.А. (СССР). № 4763925/27; Заявлено 04.12.89; Оpubл. 15.12.91, Бюл. № 46, 4 с.
- [4.5] А.с. 1556817, МКИ В 23 В 1/00. Способ токарной обработки с дроблением стружки/ Пальчевский Б.А., Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Лангер А.Я., Свириденко М.И. (СССР). № 4117342/41-08; Заявлено 11.06.86; Оpubл. 15.04.90, Бюл. № 14, 2 с.
- [4.6] А.с. 1564056 СССР, МКИ В65 D 25/10; В 23 Q 7/00. Многофункциональная кассета / Пальчевский Б.А., Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Дацко О.Р. (СССР). № 4265135/31-15; Заявлено 18.06.88; Оpubл. 15.05.90, Бюл. № 18, 2 с.
- [4.7] А.с. 1654139 СССР МКИ В65 D 25/10; В 23 С 7/00. Многофункциональная кассета/ Пальчевский Б.А., Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Ступницкий В.В., Дацко О.Р. (СССР). № 4693368/13; Заявлено 19.05.89; Оpubл. 7.06.91, Бюл. № 21, 3 с.
- [4.8] А.с. 1655855 СССР МКИ В65 D 25/10; В 23 С 7/00. Многофункциональная кассета/ Пальчевский Б.А., Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Ступницкий В.В., Дацко О.Р. (СССР). № 46925584/13; Заявлено 19.05.89; Оpubл. 15.06.91, Бюл. № 22, 3 с.
- [4.9] А.с. 1722961, МКИ В65 D 25/10; В 23 С 7/00. Многофункциональная кассета/ Пальчевский Б.А., Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Ступницкий В.В., Дацко О.Р. (СССР). № 4673759/13; Заявлено 04.04.89; Оpubл. 30.03.92, Бюл. № 12, 3 с.
- [4.10] А.с. 1611695, МКИ В 23 Q 7/10. Кассета/Б.А.Пальчевский, Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Дацко О.Р., Ступницкий В.В. (СССР). № 4436111/31-08; Заявлено 06.06.88; Оpubл. 07.12.90, Бюл. № 45, 4 с.

- [4.11] Агрегатно-модульне технологічне обладнання. Частина I. / Під ред. Ю.М.Кузнецова. Кіровоград, 2003, 422 с.
- [4.12] Артоболевский И.И., Ильинский Д.Я. Основы синтеза систем машин автоматического действия. М.: Наука, 1983, 280 с.
- [4.13] Бурляй Ю.В., Сухой Л.А. Современное оборудование для упаковки пищевых продуктов. М.: Пищевая пром-сть, 1978 – 237с.
- [4.14] ГОСТ 2.116-84. ЕСКД. Карта технического уровня и качества продукции. М.: Госстандарт, 1984, 24 с.
- [4.15] ДСТУ 2379-94. Типові функціональні модулі пакувального обладнання
- [4.16] Зайченко Ю.П. Исследование операций: Учебник. 6-е изд., перераб. и доп. Киев: Издательский Дом „Слово”, 688 с.
- [4.17] Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981, 488 с.
- [4.18] Норенков И.П., Маничев В.Б. Основы теории и проектирования САПР. М.: Высш. шк., 1990, 335 с.
- [4.19] Пальчевский Б.А., Пеклич З.И., Гонтаревский С.И., Ступницкий В.В. Обеспечение рационального использования оборудования ГПС // Станки и инструмент. 1989. №11, с. 4–6.
- [4.20] Пальчевский Б.А., Ступницкий В.В. Сопряжение транспортной и складской систем в ГПС // Технология и организация производства. 1988, № 3, с. 21–22.
- [4.21] Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування. Луцьк: Луцький НТУ, 2012, 576 с.
- [4.22] Пальчевський Б.О., Власюк С.В. Оптимізація структури автоматизованих ліній пакування // Упаковка, №4, 2002, с. 24–26.
- [4.23] Пальчевський Б.О., Власюк С.В. Структурна оптимізація автоматизованих ліній пакувального виробництва // Упаковка, №3, 2004, с.20–23.
- [4.24] Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Валецький Б.П., Бондарчук Д.В., Рак В.С. Основы САПР пакувального обладнання. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2008, 154 с.
- [4.25] Пальчевський Б.О., Шаповал О.М., Великий О.А. Оптимізаційний синтез функціонально-модульної структури пакувального устаткування. Луцьк: Луцький НТУ, 2013, 165 с.
- [4.26] Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании /Ред. В.С. Михалевич; АН УССР.Ин-т кибернетики. Киев: Наук.думка, 1974, 160 с.
- [4.27] Krestianpol E.. Information software for design fltxible manufacturing systems // Технологічні комплекси: Науковий журнал. Луцьк: Луцький НТУ, 2013, №2(8), с.169–176.
- [4.28] Krestianpol E. Information Aspects of Optimisation Synthesis of technological flexibles systems // IV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Wiedza i Zarządzanie Przedsięwzięciami w Inżynierii Produkcji “INTELTRANS 2013” [ed. Piotr Gibas, Małgorzata Trompeteur, Paweł Wojakowski]. Krakow: Politechnika Krakowska, 2013, s. 170–182.
- [4.29] Land A.H., and Doig A.G. An autmatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*. V.28 (1960), pp 497–520.
- [4.30] Gola A., Świć A., Intelligent decision support system for FMS machine tool subsystem design, [w:] Z.Banaszak, J.Matuszek, *Applied Computer Science. Enterprise Application Integration*, Vol. 3, No 1, 2007, Technical University of Koszalin, pp. 109–124.
- [4.31] Sobaszek Ł., Gola A., Świć A., Creating Robust Schedules Based on Previous Production Processes, *Actual Problems of Economics*, No. 8 (158) 2014, pp. 488–495.
- [4.32] Gola A., Świć A., Metoda komputerowego zapisu wiedzy technicznej o wyrobach klasy korpus w kontekście doboru obrabiarek w ESP, [w:] R.Knosala (red.) *Komputerowo zintegrowane zarządzanie. Tom 1*, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2010, s. 473–481.

- [4.33] Gola A., Sobaszek Ł., Implementation of MS Access software for casing-class manufacturing features saving, *Applied Computer Science*, Vol. 10, No. 2, 2014, pp. 44–56.
- [4.34] Kozłowski E., Terkaj W., Gola A., Hajduk M., Świć A., A predictive model of multi-stage production planning, *Management and Production Review*, Vol. 5, No. 3, 2014, pp. 23–32.
- [4.35] Świć A., Gola A., A Method of Qualification of Parts for Production in a Flexible Manufacturing System, *Actual Problems of Economics*, No. 11 (149) 2013, pp. 576–585.
- [4.36] Sobaszek Ł., Gola A., Zastosowanie Matlab w szeregowaniu zadań produkcyjnych, [w:] M.Janczarek, J.Lipski, *Technologie informacyjne w technice i kształceniu*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2013, s. 102–114.
- [4.37] Banaszak Z.A., Tang X.Q., Wang S.C., Zaremba M.B., Logistics models in flexible manufacturing, *Computers in Industry*, Vol. 43, No. 3, pp. 237–248.
- [4.38] Bocewicz G., Wójcik R., Banaszak Z., On undecidability of cyclic scheduling problems, *Knowledge Science, Engineering and Management*, Springer Berlin Heidelberg 2009, p. 310–321.
- [4.39] Charczenko A., Świć A., Taranenکو W., *Obrabiarki i urządzenia technologiczne w produkcji elastycznej*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2011, 299 s.
- [4.40] Banaszak Z., Jampolski L.S., *Komputerowo wspomagane modelowanie elastycznych systemów produkcyjnych*, WNT Warszawa 1991.
- [4.41] Plinta D., Więcek D., *Production systems design*, Wyd. Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała 2012, 122 s.

5. NOWOCZESNE I PRZYSZŁOŚCIOWE KIERUNKI ROZWOJU ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

5.1. Przesłanki rozwoju nowych form organizacji zintegrowanych systemów produkcyjnych

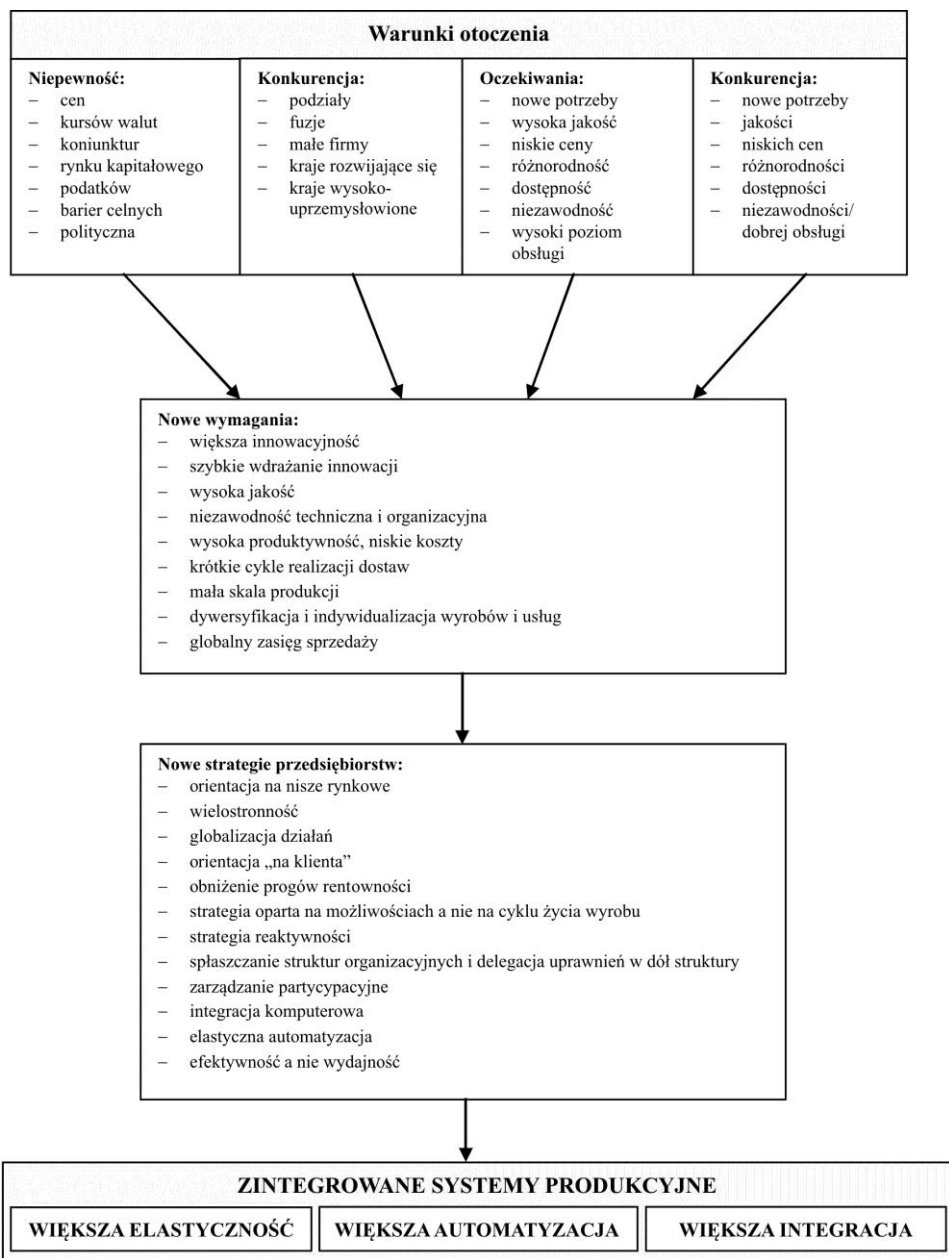
Prawdopodobieństwo utrzymania się współczesnego przedsiębiorstwa na rynku w dużym stopniu zależy od poziomu realizowanej w nim strategii konkurencyjności. Wymaga to zmiany wizerunku i strategii rynkowej wielu firm i instytucji. Potrzeba zmiany paradygmatu widzenia dotyczy również projektowania i funkcjonowania systemów produkcji [5.19]. Z uwagi na dynamiczne zmiany potrzeb rynku, klasyczne formy organizacji systemów produkcyjnych często nie mogą sprostać wymogom współczesności. Tym samym rodzi się potrzeba wdrażania systemów o charakterystykach odmiennych w stosunku do konwencjonalnych systemów wytwórczych [5.21].

Obecnie, czynnikami o kluczowym znaczeniu, wyznaczającymi kierunek rozwoju systemów produkcyjnych stały się elastyczność, automatyzacja i integracja (rys. 5.1).

Pod pojęciem *elastyczności* rozumie się zdolność systemu do jednoczesnej krótkoseryjnej (a nawet jednostkowej) produkcji wielu różnych typów części, przy wysokiej wydajności całego systemu, porównywanej z wydajnością automatycznych linii dla produkcji masowej.

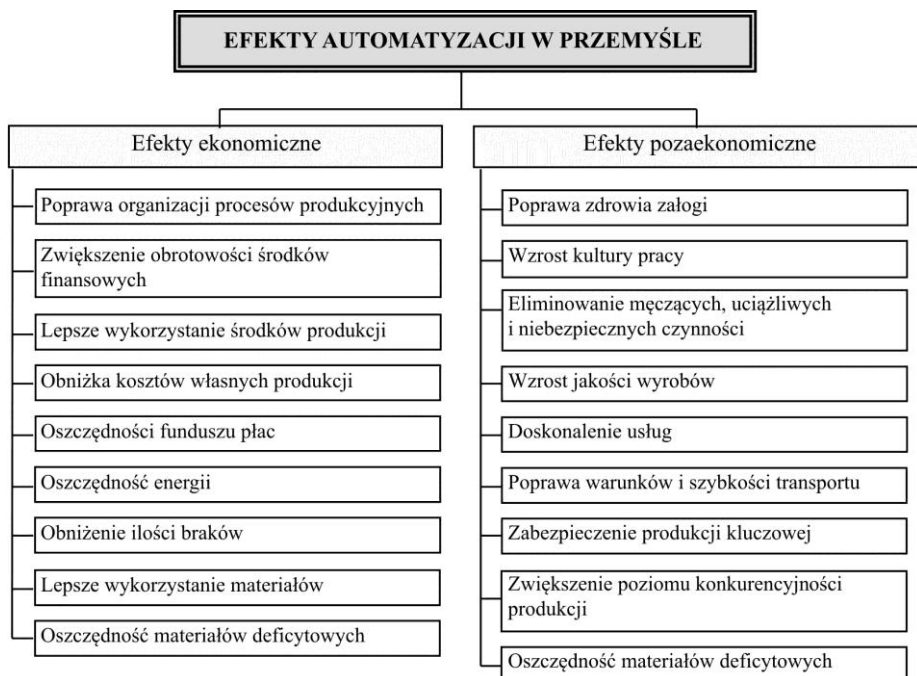
Drugą po elastyczności cechą rozwoju zautomatyzowanych systemów produkcyjnych jest automatyzacja. Pod pojęciem *automatyzacji* rozumie się zastępowanie ręcznych czynności prowadzenia (kierowania, sterowania) procesów technologicznych czynnościami samoczynnymi (bez bezpośredniego udziału człowieka). Tak więc automatyzacja wiąże się z czynnościami sterowania w odróżnieniu od *mechanizacji*, która wiąże się z wykonywaniem określonej pracy fizycznej i wydatkowaniem znacznej energii.

Automatyzacja eliminuje ingerencję operatora w czasie trwania procesu technologicznego i umożliwia koncentrację czynności ludzkich na uzbrojeniu i ustawieniu obrabiarki, na nadzorze, konserwacji, naprawach [5.34].



Rys. 5.1. Determinanty rozwoju zintegrowanych, zautomatyzowanych systemów produkcyjnych (opracowano na podstawie [5.33])

O celowości wprowadzania automatyzacji na ogół decydują przyczyny ekonomiczne (obniżka kosztów produkcji, wzrost wydajności pracy, zmniejszenie pracochłonności itp.), chociaż możliwe są także inne względy, jak np. maksymalizacja wydajności w warunkach wojennych, walka konkurencyjna o utrzymanie się na rynku itp. [5.44]. Podobnie efekty wprowadzenia automatyzacji można rozpatrywać zarówno z punktu widzenia efektów ekonomicznych, jak i pozaekonomicznych. Potencjalne efekty automatyzacji pokazano na rys. 5.2.



Rys. 5.2. Efekty automatyzacji w przemyśle (opracowano na podstawie [5.32])

Integracja będąca trzecią ważną cechą zautomatyzowanych systemów produkcyjnych, realizowana jest poprzez podsystemy przepływu strumieni materiałowo-energetycznych i informacyjnych. Jest ona rozumiana dwojako – jako integracja techniczna i integracja funkcjonalna.

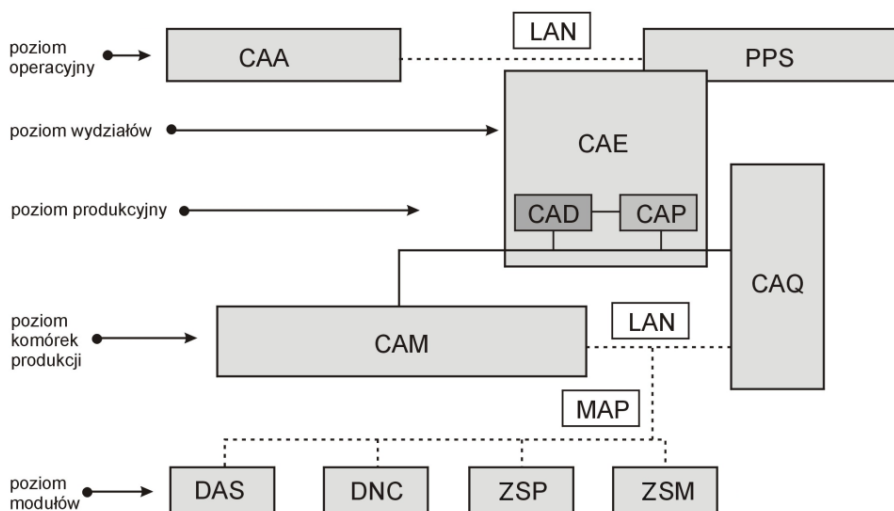
Integracja techniczna oznacza fizyczne zespolenie elementów systemu produkcyjnego, wyznaczając określony poziom techniczny i przestrzenny elementów materialnych systemu. Natomiast **integracja funkcjonalna** polega na włączeniu do danego systemu niezbędnych procesów tak, aby system obejmował większy zakres funkcji i procesów, a w rezultacie odznaczał się większą autonomią.

Integracja systemów produkcyjnych zmierza w kierunku powstania zintegrowanej komputerowo fabryki wykorzystującej komputerowo zintegrowane wytwarzanie CIM. **Komputerowo zintegrowany system wytwórczy CIM** (*Computer Integrated Manufacturing*) jest to system, w którym wszystkie funkcje i elementy uczestniczące w realizacji procesu produkcyjnego są zintegrowane przez jednolity system informacyjno-decyzyjny i sterowany przez komputery. Powstał on w wyniku połączenia przetwarzania informacji technicznej i ekonomicznej przy wykorzystaniu wysoko zaawansowanych technologii informatycznych. CIM stanowi integrację modułów bazowych CAE z CAD i CAP, CAA, CAQ, PPS, CAM (rys. 5.3). Ma on strukturę hierarchiczną, pracuje na wspólnej bazie danych i wiedzy dla całego systemu produkcyjnego. W skład systemu CIM wchodzi następujące moduły bazowe:

- CAD (*Computer Aided Design*) – komputerowo wspomaganie projektowanie,
- CAE (*Computer Aided Engineering*) – komputerowe wspomaganie prac inżynierskich,
- CAM (*Computer Aided Manufacturing*) – komputerowo wspomaganie wytwarzanie,
- CAP (*Computer Aided Planning*) – komputerowo wspomaganie planowanie procesów,
- CAQ (*Computer Aided Quality*) – komputerowo wspomaganie sterowanie jakością,
- CAA (*Computer Aided Administration*) – komputerowo wspomaganie administracja,
- PPS (*Production Planning System*) – komputerowo wspomaganie planowanie i sterowanie produkcją,
- DAS (*Data Acquisition System*) – system pobierania danych,
- CNC (*Computer Numerical Control*) – komputerowe wspomaganie cyfrowe,
- DNC (*Direct Numerical Control*) – sterowanie numeryczne bezpośrednie,
- ZSP – zautomatyzowany system produkcyjny (ESP, RSP, DESP),
- ZSM – zautomatyzowany system montażowy,
- TOP (*Technical Office Protocol*) – protokół techniczny,
- MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) – protokół zautomatyzowanego wytwarzania,
- LAN (*Local Area Network*) – lokalna sieć komputerowa.

W konsekwencji, zarówno przedstawione powyżej przesłanki ekonomiczne, organizacyjne i psychologiczno-społeczne, jak też szybki postęp w zakresie technologii wytwarzania i technik komputerowych, doprowadziły do szerokiego zastosowania w przemyśle obrabiarek sterowanych numerycznie, robotów przemysłowych oraz komputerowych systemów sterowania produkcją. Stało się to fundamentem dla rozwoju zautomatyzowanych systemów wytwórczych charakteryzujących się wysokim poziomem elastyczności, automatyzacji i integracji.

Przedstawicielami najnowszych rozwiązań w zakresie systemów produkcyjnych są: rekonfigurowalne systemy produkcyjne (RSP) oraz systemy produkcyjne o sparametryzowanym poziomie elastyczności (DESP), fraktalne elastyczne systemy produkcyjne (FESP), holonowe elastyczne systemy produkcyjne (HESP), bioniczne elastyczne systemy produkcyjne (BESP), wirtualne elastyczne systemy produkcyjne (WESP) oraz inteligentne elastyczne systemy produkcyjne (IESP).



Rys. 5.3. Schemat strukturalny komputerowo zintegrowanego systemu wytwarzania CIM (opracowano na podstawie: [5.50])

5.2. Rekonfigurowalne systemy produkcyjne (RSP)

Koncepcja rekonfigurowanych systemów produkcyjnych (RSP) powstała w Centrum Badań Inżynierskich w Uniwersytecie Michigan (Stany Zjednoczone) i wprowadzona w życie w 1999 roku, jako odpowiedź na nowe wyzwania rynku przejawiające się m.in. w:

- konieczności skracania czasu wprowadzenia nowego produktu na rynek,
- większym zróżnicowaniu asortymentowym wyrobów wymaganych przez klientów,
- mniejszych i zmiennych wolumenach produkcji,
- konieczności obniżania cen produkowanych wyrobów [5.14].

Pod pojęciem *rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego (RSP)* rozumie się system produkcyjny zaprojektowany pod kątem możliwości szybkiego dostosowania funkcjonalności i posiadanych zdolności produkcyjnych i do zadań wynikających ze zmiennego zapotrzebowania rynku poprzez zmianę struktury systemu zarówno w sferze urządzeń produkcyjnych, jak i oprogramowania [5.20,5.30].

Istotą RSP jest połączenie zalet konwencjonalnych systemów produkcyjnych i elastycznych systemów produkcyjnych z jednoczesnym ukierunkowaniem na:

1. maksymalne skrócenie czasu uruchomienia produkcji nowego wyrobu w systemie,
2. minimalizację kosztów związanych z projektowaniem systemu produkcyjnego dostosowanego do produkcji nowego wyrobu,
3. eliminowanie kosztów związanych z nadmiernym poziomem elastyczności systemu produkcyjnego.

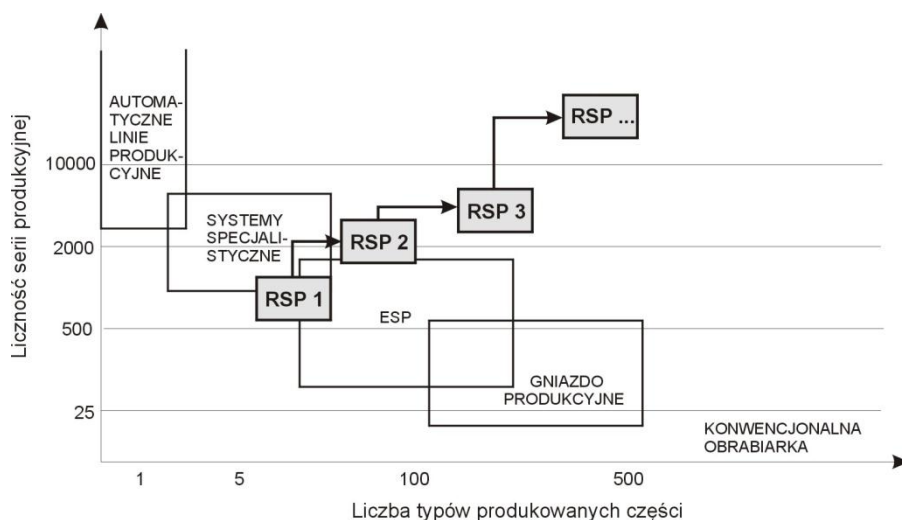
Do podstawowych cech rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego zalicza się:

- **Modułowość** – oznacza, że wszystkie główne składniki systemu (zarówno sprzęt, jak i oprogramowanie) mają budowę modułową. Modułowość umożliwia, w przypadku zaistnienia takiej potrzeby, łatwą zmianę struktury systemu lub urządzenia w celu możliwie najlepszego dopasowania do aktualnych wymagań produkcyjnych. Moduły mają również tę zaletę, że są łatwiejsze zarówno w konserwacji, jak i udoskonalaniu, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia kosztów systemu. Nowe algorytmy kalibracji mogą być w łatwy sposób zintegrowane ze sterownikami maszyn, co zwiększa dokładność systemu.
- **Integralność** – zdolność do szybkiej i precyzyjnej integracji modułów poprzez zbiór mechanicznych, informatycznych i kontrolnych połączeń umożliwiających ich integrację i komunikację. Integralność RSP rozpatrywana jest na dwóch poziomach, tj. poziomie maszyn i poziomie systemu. Na poziomie maszyny integralność oznacza możliwość połączenia elementów konstrukcji w celu ukształtowania obrabiarki lub innego urządzenia technologicznego o pożądanych w danym momencie charakterystykach użytkowych. Na poziomie systemu, integralność oznacza możliwość połączenia maszyn technologicznych z urządzeniami transportowymi (przeośnikami, suwnicami portalowymi) i innymi elementami w sposób umożliwiający powstanie RSP. Elementem integralności systemu są sterowniki maszyn umożliwiające integrację w ramach rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego oraz integrację systemu z nadrzędnym systemem sterowania produkcją w przedsiębiorstwie.

- **Racjonalność** – rozumiana poprzez projektowanie systemu ze ścisłym ukierunkowaniem na zapewnienie elastyczności rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego na poziomie ściśle dostosowanym do aktualnych potrzeb produkcyjnych. Racjonalność jest podstawowym elementem odróżniającym RSP od ESP umożliwiającym znaczną redukcję kosztów projektowania i eksploatacji systemu poprzez eliminację kosztów inwestycyjnych związanych z nadmierną, nie wykorzystywaną elastycznością systemu. W konsekwencji racjonalność oznacza, iż RSP jest projektowany z przeznaczeniem do obróbki określonej wąskiej rodziny wyrobów o określonych podobnych cechach geometrii i kształtu, podobnym poziomie tolerancji wymiarowych, wykonywanych według zbieżnych technologii, przy zbliżonym koszcie wytwarzania. Racjonalność w odniesieniu do poziomu elastyczności systemu umożliwia wykorzystanie zróżnicowanych narzędzi na tej samej maszynie, jednocześnie zwiększając poziom produktywności i zmniejszając koszt produkcji.
- **Zmienność** – oznacza zdolność do szybkiej zmiany funkcjonalności istniejącego systemu, maszyn i sterowników w celu dostosowania się do nowych zadań produkcyjnych. Zmienność systemu może być rozpatrywana na kilku poziomach. Zmiana może wymagać wymiany wrzeciennika na obrabiarce (na przykład z wrzeciona o niskim momencie obrotowym i wysokiej prędkości obrotowej stosowanego przy obróbce aluminium, na wrzeciono o wysokim momencie obrotowym i małej prędkości obrotowej stosowanej przy obróbce tytanu) lub manualnego dostosowania pasywnych stopni swobody w przypadku obróbki dwóch różnych części. Warunkiem koniecznym uzyskania wysokiej efektywności jest szybkość dokonania takiej zmiany. Aby to osiągnąć RSP musi posiadać nie tylko tradycyjne metody przebrojenia, ale powinien być także wyposażony w zaawansowane mechanizmy umożliwiające łatwe przebrojenie w celu obróbki różnych części, jak również metody monitorowania i sterowania, które umożliwiają szybką kalibrację maszyny po dokonanych przebrojeniu.
- **Skalowalność** – oznacza zdolność do łatwej zmiany poziomu zdolności produkcyjnych RSP poprzez zmianę struktury rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego lub zmianę zdolności produkcyjnych określonych elementów wchodzących w skład RSP. Skalowalność jest ściśle powiązana z charakterystyką zmienności systemu. Skalowalność na poziomie maszyny może na przykład oznaczać możliwość dodania dodatkowej osi obróbki; skalowalność na poziomie systemu – dodanie nowej maszyny do systemu lub zmiana marszruty technologicznej obróbki części, jeżeli zaistnieje potrzeba zwiększenia ilości wykonywanych wyrobów.

- **Diagnozowalność** – oznacza zdolność do automatycznego odczytu aktualnego stanu systemu oraz możliwość wykrywania i diagnozowania przyczyn powstawania braków produkcyjnych oraz natychmiastowego podjęcia działań korygujących. Diagnozowalność RSP posiada dwa aspekty: diagnozowanie awarii maszyny i diagnozowanie złej jakości wytwarzanej części. Drugi z tych czynników jest elementem krytycznym. Struktura RSP często ulega zmianie co stanowi wyzwanie dla zachowania odpowiedniej jakości produkowanych wyrobów. Tym samym rekonfigurowalne systemy produkcyjne muszą być projektowane z systemami kontroli jakości wyrobów jako integralnym elementem systemu. Systemy pomiarowe są przeznaczone do szybkiej identyfikacji źródeł problemów jakościowych, tak aby mogły być dokonywane odpowiednie działania korygujące z wykorzystaniem metod kontroli, metod statystycznych i technik przetwarzania sygnałów.

Dzięki racjonalności rekonfigurowalne systemy produkcyjne posiadają funkcjonalność i zdolność produkcyjną ściśle dostosowaną do aktualnych zadań produkcyjnych. Tym samym posiadają minimalny wymagany poziom elastyczności ograniczając koszty inwestycyjne. Dzięki budowie modułowej, integralności, skalowalności i zmienności mogą być jednak szybko przeprojektowywane uzyskując nowy, pożądany poziom funkcjonalności i zdolności produkcyjnych dostosowany do nowych wymagań rynku (rys. 5.4).



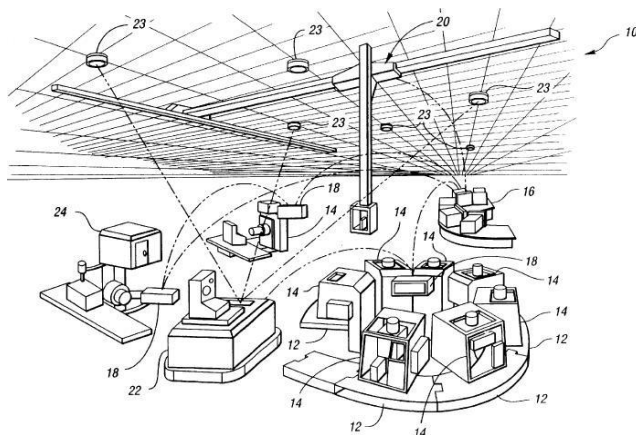
Rys. 5.4. Funkcjonalność RSP na tle innych systemów produkcyjnych (opracowano na podstawie [5.30])

Podstawową cechą rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych jest ich struktura umożliwiająca szybką zmianę konfiguracji sprzętu i oprogramowania w celu uzyskania określonego poziomu funkcjonalności i zdolności produkcyjnych dostosowanych do aktualnych zadań produkcyjnych.

W skład rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego wchodzi stanowiska robocze w postaci rekonfigurowalnych obrabiarek, systemu sterowania zawierającego rekonfigurowalne sterowniki sterujące rekonfigurowalnymi obrabiarkami oraz rekonfigurowalny podsystem transportu i manipulacji nadzorowany przez system sterowania, umożliwiający zautomatyzowany transport materiałów i części obrabianych w obszarze RSP. Zarówno rekonfigurowalne maszyny technologiczne, jak i sterowniki mają budowę modułową umożliwiającą szybką i niezawodną integrację w celu zmiany struktury systemu.

Przykład rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego został przedstawiony na rysunku 5.5. W skład systemu (10) wchodzi stanowiska robocze (12) zawierające rekonfigurowalne maszyny obróbkowe (14). System zawiera również w swojej strukturze system sterowania wraz ze stanowiskiem operatora (16) i rekonfigurowalnymi sterownikami (18), które komunikują się ze sobą, co zostało zobrazowane za pomocą przerywanych linii. Ponadto w strukturze systemu znajduje się system manipulacji, w skład którego wchodzi robot bramowy (20), co najmniej jeden wózek bezprzewodowy AGV (22) oraz układ nadajników i odbiorników antenowych (23) komunikujących się z wózkiem AGV (22), co również pokazują przerywane linie. Wózek AGV posiada również łączność z przynajmniej jednym rekonfigurowalnym sterownikiem (18).

Rekonfigurowalne systemy produkcyjne umożliwiają integrację z innymi nowoczesnymi urządzeniami produkcyjnymi takimi jak urządzenia obróbki laserowej (24) posiadające własne rekonfigurowalne sterowniki pozostające w łączności ze stanowiskiem operatora (16) oraz pozostałymi sterownikami w systemie.



Rys. 5.5. Rekonfigurowalny system produkcyjny [28]

Podstawowym elementem w strukturze rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych są maszyny i urządzenia technologiczne (obrabiarki). Do podstawowych rodzajów obrabiarek wchodzących w skład RSP należą:

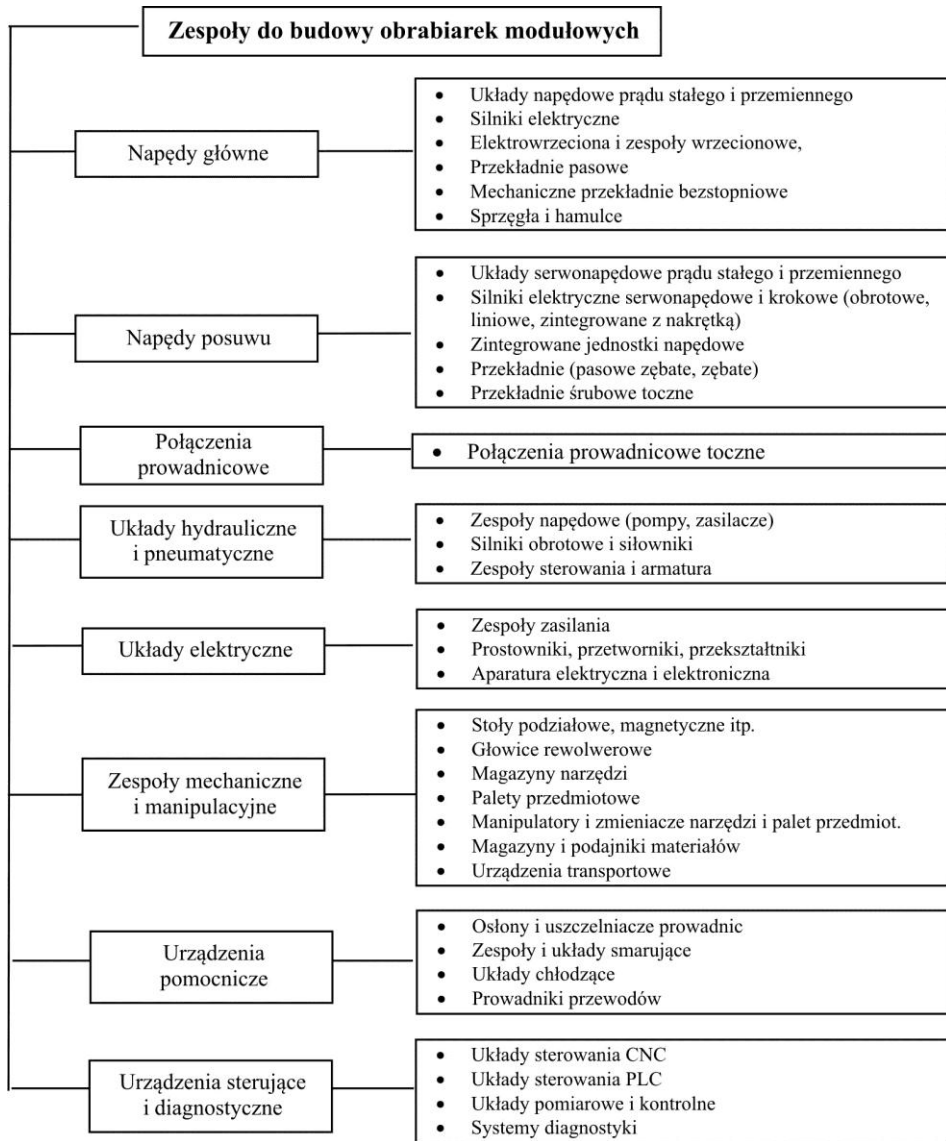
- modułowe centra obróbkowe,
- obrabiarki rekonfigurowalne.

Modułowe centra obróbkowe to obrabiarki, których konstrukcja tworzona jest przez kombinację przygotowanych wcześniej pojedynczych części lub zespołów (modułów funkcjonalnych), realizując tym samym drogą kombinacji różne funkcje ogólne układu dostosowane do potrzeb projektowanego RSP. Klasyfikacja podstawowych komponentów wchodzących w skład modułowych centrów obróbkowych została pokazana na rys. 5.6.

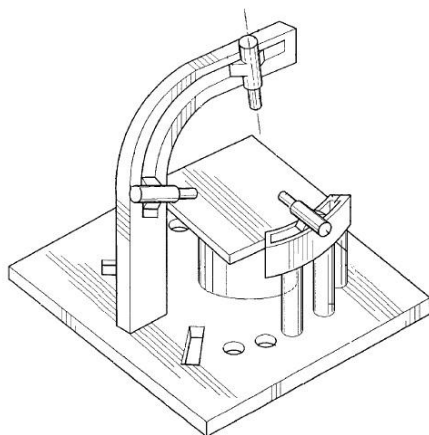
Modułowe centra obróbkowe, dzięki posiadanej funkcjonalności konstrukcyjnej pozwalają na szybką zmianę struktury obrabiarki, dostosowaną do aktualnych potrzeb produkcji realizowanej w rekonfigurowalnym systemie produkcyjnym. Dodatkowo do zalet budowy obrabiarek modułowych zalicza się:

- skrócenie fazy projektowania i konstruowania RSP, gdyż konstruktor, który stosuje komputerowe wspomaganie projektowania (CAD) i dysponuje bazą modułów czy komponentów, może pracować szybciej i jednocześnie ma możliwość przeanalizowania wielu różnych wariantów rozwiązań,
- skrócenie czasu budowy i uruchomienia,
- zmniejszenie w konstrukcji udziału części specjalnych oraz zwiększenie elastyczności rozbudowy,
- dostępność do części zamiennych, dzięki czemu osiąga się wysoki stopień dyspozycyjności obrabiarek i ich systemów,
- znaczne ułatwienie planowania i realizacji automatyzacji produkcji o różnym stopniu elastyczności dzięki dysponowaniu podanym zestawem modułowych zespołów składowych.

Obrabiarki rekonfigurowalne to obrabiarki, w których istnieje możliwość dokonywania szybkich zmian w strukturze maszyny i szybkiej zmiany funkcjonalności obrabiarki poprzez wymianę modułów bazowych. W konsekwencji istnieje możliwość realizacji różnych operacji obróbkowych (jak np. toczenie, frezowanie, szlifowanie) na zróżnicowanych geometrycznie częściach obrabianych przy zastosowaniu minimalnej liczby sterowanych osi. Przykład schematu konstrukcyjnego obrabiarki rekonfigurowalnej został pokazany na rys 5.7.



Rys. 5.6. Typowe zespoły (komponenty) do budowy obrabiarek [5.25]



Rys. 5.7. Schemat konstrukcyjny obrabiarki rekonfigurowalnej [5.29]

W obrabiarkach rekonfigurowalnych wykorzystano koncepcję obrabiarek modułowych, lecz mają one taką budowę, aby zestawienia modułów w celu zmiany zadań obróbkowych mogli dokonywać sami użytkownicy, w stosunkowo krótkim czasie i przy stosunkowo niewielkich wymaganiach odnośnie do stosowanego sprzętu i doświadczenia montażowego.

W obrabiarkach rekonfigurowalnych łatwo można wykorzystywać wszystkie potrzebne podczas obróbki kompletnej moduły technologiczne do realizacji różnych sposobów wytwarzania, jak: toczenie (także materiałów w stanie utwardzonym), frezowanie, wiercenie, szlifowanie usuwanie zadziorów, a także do zapewnienia jakości i wykonania zadań manipulacyjnych [5.37]. Niestety słabą stroną tego typu maszyn technologicznych nadal pozostają problemy dokładności obróbki, co w niektórych przypadkach stanowi ograniczenie ich stosowalności w systemach produkcyjnych.

Obrabiarki wchodzące w skład podsystemu wytwarzania RSP mogą tworzyć struktury szeregowe, równoległe lub mieszane, co determinuje dobór odpowiednich maszyn i urządzeń realizujących procesy obsługowe [5.23]. Wszystkie elementy rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego zintegrowane są poprzez przewodowy lub bezprzewodowy system komunikacji łączący obrabiarki z urządzeniami kontrolno-pomiarowymi, urządzeniami transportowymi i manipulacyjnymi oraz nadrzędnym systemem sterowania RSP [5.14].

5.3. Dedykowane elastyczne systemy produkcyjne (DESP)

Koncepcja dedykowanych elastycznych systemów produkcyjnych DESP¹ jest jednym z najnowszych trendów w rozwoju zautomatyzowanych systemów produkcyjnych. Idea DESP narodziła się na początku pierwszego dziesięciolecia XXI wieku we Włoszech (Politechnika w Milano), jako alternatywa dla istniejących rozwiązań w postaci elastycznych systemów produkcyjnych i rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych.

Pod pojęciem *dedykowanego elastycznego systemu produkcyjnego (DESP)* rozumie się zintegrowany kompleks urządzeń technologicznych CNC, zautomatyzowanych środków transportu i manipulacji przedmiotami i narzędziami oraz zautomatyzowanych urządzeń kontrolno-pomiarowych, zaprojektowany pod kątem zapewnienia optymalnego poziomu elastyczności z punktu widzenia bieżących zadań produkcyjnych [5.45].

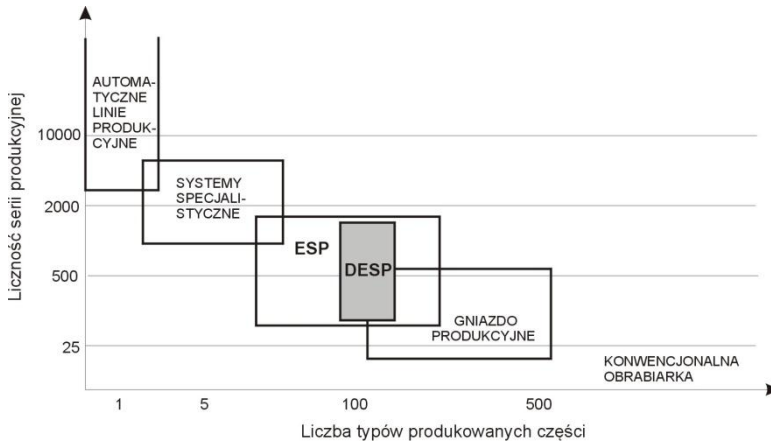
Wysoka elastyczność systemu produkcyjnego, pociąga za sobą wysokie koszty inwestycji, które przekładają się na wysokie koszty wytwarzania w odniesieniu na jednostkę produkcji. W erze konkurencji globalnej, ukierunkowanej na minimalizację kosztów produkcji ma to niebagatelne znaczenie z punktu widzenia efektywności realizowanych w przedsiębiorstwie procesów². Z tego też powodu, nadrzędnym celem dedykowanych elastycznych systemów produkcyjnych nie jest maksymalizacja poziomu elastyczności systemu (jak ma to miejsce w przypadku klasycznych ESP), a jej racjonalizacja, dająca możliwość ograniczenia zarówno kosztów inwestycyjnych, jak też kosztów eksploatacji systemu w okresie cyklu jego życia. Tym samym poziom elastyczności DESP, jest w porównaniu do ESP ograniczony, zwłaszcza w zakresie zróżnicowania asortymentowego wyrobów wytwarzanych w systemie (rys. 5.8) [5.42,5.43].

Biorąc pod uwagę cel w postaci racjonalizacji poziomu elastyczności systemu, koncepcja dedykowanych elastycznych systemów produkcyjnych wydaje się podobna do koncepcji rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych – istnieją jednak dwa podstawowe kryteria stanowiące o istotnej różnicy DESP i RSP (tab. 5.1):

- struktura systemu – stała w przypadku DESP; zmienna w przypadku RSP,
- długość cyklu życia systemu – określona w przypadku DESP, nieokreślona w przypadku RSP.

¹ Oryginalna angielskojęzyczna nazwa DESP brzmi: *Focused Flexibility Manufacturing System (FFMS)* – zob. np. [5.14].

² W literaturze znaleźć można wiele przykładów wdrożeń systemów (np. ESP), które nie przyniosły pożądanych skutków ekonomicznych generując zbyt wysokie koszty wytwarzania – zob. np. [5.15].



Rys. 5.8. Funkcjonalność DESP na tle innych systemów produkcyjnych

Tab. 5.1. Porównanie cech zautomatyzowanych systemów produkcyjnych

	ESP	RSP	DESP
Struktura systemu	stała	zmienna	stała
Poziom elastyczności systemu	maksymalny	optymalny z punktu widzenia bieżących zadań produkcyjnych	optymalny z punktu widzenia bieżących i planowanych zadań produkcyjnych
Długość cyklu życia systemu	nieokreślona	nieokreślona	określona
Koszt inwestycji	wysoki	wysoki	średni
Asortyment wytwarzanych wyrobów	bardzo duży	niski (przy określonej konfiguracji)	średni

Podstawowym kryterium różnicującym DESP od RSP jest *struktura systemu*. W przypadku RSP chociaż system projektowany jest pod kątem dopasowania poziomu elastyczności do aktualnych zadań produkcyjnych – system ma możliwość łatwej zmiany struktury w przypadku zaistnienia potrzeb rynkowych, mających przełożenie na zmianę asortymentu lub wolumenu produkowanych wyrobów. W przypadku DESP system projektowany jest z założeniem niezmienności struktury systemu w cyklu jego życia – elastyczność systemu jest jednak określana na podstawie aktualnych i prognozowanych zadań produkcyjnych [5.22].

Drugim podstawowym kryterium odróżniającym DESP od ESP i RSP – jest **długość cyklu życia systemu**. Dedykowane elastyczne systemy produkcyjne, projektowane są z założeniem określonego (zdefiniowanego przez projektanta) okresu eksploatacji. Tym samym, projekt DESP uwzględnia elastyczność większą od wymaganej przez obecny charakter produkcji, posiadając „dodatkową” elastyczność, dzięki której powinien poradzić sobie z przyszłymi zmianami produkcji mimo niezmiennej w okresie użytkowania struktury systemu. W przypadku projektowania klasycznego ESP zakłada się maksymalną możliwą elastyczność systemu, umożliwiającą jego eksploatację w ściśle nieokreślonym terminie. W przypadku RSP można mówić jedynie o „długości życia” określonej konfiguracji systemu – z założenia jednak sam system ma nieograniczoną długość cyklu życia.

W ogólnym wymiarze, budowa dedykowanych elastycznych systemów produkcyjnych (DESP) odpowiada strukturze elastycznych systemów produkcyjnych. Tym samym, podobnie jak w przypadku ESP, w strukturze DESP wyróżnić można:

- podsystem wytwarzania – obejmujący stanowiska robocze: obróbkowe, przygotowawcze i kontroli,
- podsystem transportu – urządzenia i środki techniczne potrzebne do przemieszczania przedmiotów pracy, a także palet, narzędzi i inne,
- podsystem magazynowania – urządzenia i środki techniczne dla przechowywania półfabrykatów, zapasów produkcji w toku, palet, narzędzi i inne,
- podsystem manipulacji – urządzenia i środki techniczne umożliwiające przekazywanie przedmiotów pracy, palet i narzędzi pomiędzy podsystemami: wytwarzania, transportu, magazynowania,
- podsystem pomocy warsztatowych – zbiór narzędzi: skrawających, pomiarowych i kontrolnych oraz palet i uchwytów stosowanych w systemie produkcyjnym,
- podsystemy zasilania i usuwania odpadów – urządzenia i środki techniczne realizujące zasilanie systemu w materiały pomocnicze, energię oraz usuwające odpady poprodukcyjne,
- podsystem sterowania – urządzenia i środki techniczne zapewniające sprawne współdziałanie wszystkich podsystemów funkcjonalnych, a także sterowanie techniczne elementami podsystemów i systemem,
- podsystem kontroli i diagnostyki – urządzenia i środki techniczne dla pomiarów i zapewnienia jakości produkowanych wyrobów oraz niezawodności środków produkcji.

Ze względu na nadrzędny cel ograniczenia poziomu elastyczności systemu do niezbędnego minimum – podstawowymi elementami różniącymi budowę DESP od klasycznego elastycznego systemu produkcyjnego są:

- większy udział maszyn technologicznych i urządzeń realizujących procesy pomocnicze o mniejszym poziomie elastyczności (np. trzyosiowe centrum obróbkowe, zamiast centrum pięcioosiowego czy też manipulator przemysłowy zamiast robota przemysłowego) [5.18],
- mniejsza pojemność magazynów w systemie (zwłaszcza magazynu centralnego),
- mniejsza ilość palet technologicznych w systemie, dostosowanych bezpośrednio do charakterystyk geometrycznych wytwarzanych wyrobów.

Dzięki takim rozwiązaniom koszt inwestycji w DESP (przekładający się na koszty produkcji) jest dużo niższy aniżeli w przypadku tradycyjnego ESP – jednakże w przypadku dużych zmian zapotrzebowania rynku – cykl życia systemu jest dużo krótszy. Tym samym stanowi to wyzwanie dla właściwego określenia poziomu elastyczności, uwzględniającego potencjalne zmiany w planach produkcyjnych w planowanym cyklu życia systemu.

5.4. Fraktalne elastyczne systemy produkcyjne (FESP)

Fraktalny system produkcyjny (Fractal Organization) jest nową koncepcją struktury współpracy wydzielonych jednostek, umożliwiającą zastąpienie pionowych zhierarchizowanych struktur organizacyjnych w przedsiębiorstwie.

Pojęcie *fraktal* (łac. fractus – złamany, pęknięty) pochodzi od matematyczno-geometrycznego określenia struktur naturalnych organizmów żywych i materii. Fraktale są elementami pewnej całości odwzorowującymi jej strukturę [5.39].

Obiekty fraktalne mają następujące właściwości:

- są samopodobne na każdym poziomie obserwacji, w tym sensie, że po wyjęciu z nich dowolnej małej części i jej powiększeniu powstanie obiekt wiernie naśladujący całość,
- nie posiadają unikalnej, charakterystycznej w ich przypadku skali długości, gdyż powiększone lub pomniejszone nie zmieniają swych kształtów,
- część jest równoważna całości, układ mikro odzwierciedla układ makro oraz inne układy mikro,
- obiekty fraktalne można powiększać w nieskończoność [5.38].

Na płaszczyźnie organizacyjnej fraktal to samodzielna jednostka, której cele i wydajność mogą być jednoznacznie opisane. Fraktalem może być przedsiębiorstwo (makrofraktal), jak i jego część (mikrofraktal). Zastosowanie tego pojęcia do kształtowania przedsiębiorstw podkreśla samopodobieństwo organizacji i jej poszczególnych fraktali.

Wszystkie obiekty fraktalne takiego przedsiębiorstwa: obszary, zespoły, pracownicy są samodzielnymi odpowiedzialnymi jednostkami, których współpracy przyświecają cele przedsiębiorstwa oraz przedsiębiorcze myślenie i działanie.

Koncepcja organizacji fraktalnej jest próbą odpowiedzi na rosnącą złożoność wewnętrznych i zewnętrznych warunków funkcjonowania przedsiębiorstw.

5.5. Holonowe systemy produkcyjne (HSP)

Holoniczny system produkcyjny (Holonis Manufacturing System – HMS) zakłada odejście od dużych hierarchicznych organizacji na rzecz małych, zdecentralizowanych jednostek, skupiających jedynie kompetencje kluczowe. Jednostki te, podobnie jak w organizacjach fraktalnych, określane jako **holony** (z greckiego: *holos* – całość i *on* – część), odzwierciedlają strukturę całości, nie tracąc przy tym samodzielności i niezależności operacyjnej. Holony to autonomiczne i kooperujące bloki systemów produkcyjnych służące do przekształcania, transportowania, gromadzenia informacji lub obiektów fizycznych.

Geneza HSP wiąże się ze słabością klasycznych systemów CIM/ESP, których paradygmatyczna elastyczność sprzętowa ograniczona jest przez hierarchiczność ich scentralizowanego systemu informacyjnego. W kontekście produkcyjnym można zdefiniować HSP jako holarchiczny system wytwórczy złożony z holonów.

Holony funkcjonują jako [5.46]:

- niezależne całości, którym są podporządkowane części składowe,
- zależne części, podporządkowane wyższym poziomom i celom,
- części skoordynowane z ich lokalnym środowiskiem.

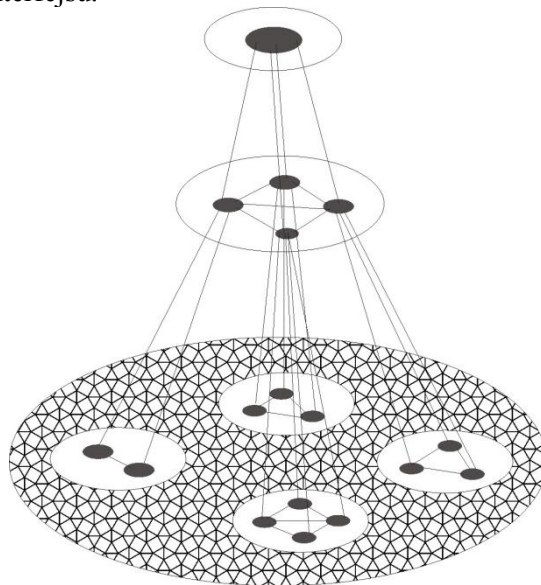
Sam holon to autonomiczny i kooperatywny moduł odpowiedzialny za przetwarzanie obiektów fizycznych oraz skojarzonych z nimi informacji w ramach określonych operacji produkcyjnych. Każdy holon może działać niezależnie lub być częścią innego holonu bądź większej całości, określanej jako **holarchy**. Holarchy są grupą holonów, kooperujących ze sobą aby osiągnąć wspólne cele. Holarchy tworzą wyższy poziom organizacyjny, monitorując i wspierając działania poszczególnych holonów.

Organizacja holoniczna utworzona na bazie holonów i holarchów jest elastycznym układem powiązań między wyodrębnionymi jednostkami (rys. 5.9). Umożliwia, dzięki ciągłemu procesowi reorganizacji i fluktuacji, szybkie i sprawne dostosowywanie się do zmiennych warunków wewnętrznych i zewnętrznych. Zasadniczym celem organizacji holonicznej jest rozwój technologii numerycznej oraz projektowanie, wdrażanie i stosowanie systemów HSP w praktyce przemysłowej, natomiast inne korzyści są niejako uzyskiwane dodatkowo [5.26].

Do programowej implementacji HSP dobrze nadają się systemy multi-agentowe (MAS). W tym miejscu należy postawić pytanie o bardziej szczegółowe związki między MAS a HSP. W obu przypadkach mamy bowiem do czynienia ze strategiami, których podstawą są inteligentne obiekty kooperujące ze sobą dla osiągnięcia zadanych celów z uwzględnieniem ich dynamiki, jak również zmiennego otoczenia. Niemniej technologie agentowe są konstrukcją przede wszystkim programową, choć oczywiście efekty ich działań są przyporządkowane obiektom świata rzeczywistego. Z kolei holony HSP to jednostki integrujące bezpośrednio świat fizyczny i informacyjny, czyli realny i wirtualny.

Holon obejmuje również mechanikę samego procesu wytwórczego i można wyróżnić w nim trzy warstwy:

- warstwę fizyczną,
- warstwę sterującą,
- warstwę interfejsu.

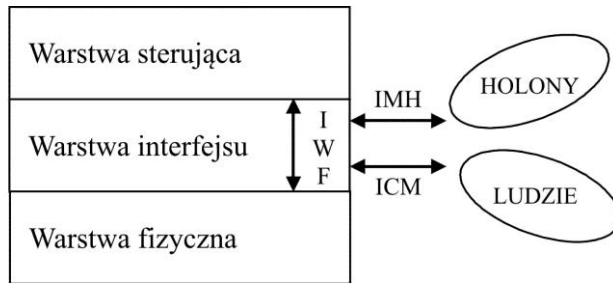


Rys. 5.9. Organizacja holoniczna [5.27]

Warstwa fizyczna integruje w holonie właściwe operacje produkcyjne, np. frezowanie. Powiązana jest ona z *warstwą sterującą* – ta właśnie część może być traktowana jako wspólna dla systemów MAS i HSP. W *warstwie interfejsu* możemy z kolei wyróżnić trzy elementy:

- interfejs warstwy fizycznej,
- interfejs człowiek-maszyna,
- interfejs międzyholonowy.

Pierwszy z nich łączy warstwę sterującą holonu z jego warstwą fizyczną, drugi jest złączem umożliwiającym komunikację człowieka z holonem, a trzeci zapewnia komunikację interholonową w ramach holarchii (rys. 5.10).



IWF – interfejs warstwy fizycznej
 ICM – interfejs człowiek-maszyna
 IMH – interfejs międzyholonowy

Rys. 5.10. Podstawowe składniki holonu [5.50]

Tak więc wyspecyfikowana maszyna systemu wytwórczego może być interpretowana przez holon przyporządkowujący zadania jako holon stanowiskowy (maszyny). W rzeczywistości ów drugi jest złożeniem dwóch odrębnych holonów: holonu przydziału zasobów i holonu sterującego. Te dwa holony odpowiedzialne są za przydział zasobów fizycznych do wykonania zadania oraz za przesyłanie impulsów sterujących czyli w obu przypadkach ich partnerem jest odrębny holon zasobów. W tym przykładzie, w zależności od przyjętego poziomu abstrakcji modelowania, mamy do czynienia z trój- bądź pięcioholonową holarchią.

Przechodzenie systemów ESP/CIM do HSP, w kontekście struktury holonu, nieodparcie nasuwa skojarzenia z transformacją systemów programowych, jaką obserwujemy w ostatnich latach: od programowania strukturalnego do obiektowego. Holon integruje fizyczny i informacyjny wymiar systemu wytwórczego, podobnie jak obiekt programowy znosi tradycyjne podziały wynikające z klasycznej, wirthowskiej formuły: program = algorytm + dane [5.50].

Oczywiście z samym holonem skojarzony jest zarówno określony algorytm, jak i struktury danych, można tu wręcz mówić o bazie danych holonu. A zatem również w zakresie bazodanowym znajdziemy stosowne technologie, których specyfika dobrze odpowiada charakterystykom holonów. Na poziomie multiholonowym taką technologią mogą być relacyjne bazy danych, jako opozycja do wcześniejszych rozwiązań hierarchiczno-sieciowych, odpowiadających sztywnym i scentralizowanym systemom produkcyjnym. Jak wiadomo, w relacyjnych bazach danych ścieżki dostępu do danych tworzone są (z punktu widzenia użytkownika) *ad hoc*, tj. w zależności od programu (*query*) zapytania zgłoszonego w określonym momencie. Również i w systemie holonowym nie

można wyróżnić stanu typowego (normalnego), ponieważ stan zasobów czy plan procesu może ulec zmianie w dowolnej chwili w zależności od złożenia strategicznych kryteriów wyznaczających rozwiązania alternatywne (np. koszt, jakość, czas).

5.6. Bioniczne systemy produkcyjne (BSP)

Poszukiwanie naturalnych wzorców dla rozwiązań technicznych jest aktualnym trendem. Klasycznym już przykładem w tym obszarze są algorytmy genetyczne i ich zastosowania jako jedna z głównych metod sztucznej inteligencji. W tym nurcie mieszczą się także bioniczne systemy produkcyjne (BSP), poszukujące związków między żywymi organizmami a systemami produkcyjnymi. Nadmienić należy tylko, że pełna realizacja tej idei ma także wymiar ekologiczny: bioniczne fabryki stały by się częścią światowego ekosystemu na podobieństwo żywych organizmów. Wszystko bowiem w świecie przyrodniczym, co wytwarza człowiek (żywy organizm), a także on sam po zakończeniu życia, jest nieszkodliwe dla środowiska.

Obecna, początkowa faza BSP, dotyczy przede wszystkim poszukiwań wzrostu efektywności ESP na bazie mechanizmów biologicznych, które gwarantują, że organizm żywy potrafi być elastyczny, zarówno w bieżącym wymiarze operatywnym, jak i strategicznie (ewolucja gatunków). Oznacza to autonomiczność systemu wyrażającą się w jego podstawowych cechach (tab. 5.2):

- samorozpoznawanie (wzajemna identyfikacja elementów i procesów systemu, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych),
- samodopasowywanie (elastyczność reakcji, w szczególności podczas zakłóceń),
- samoodtwarzanie (naprawy i wymiana zużytych elementów),
- samoorganizacja (marketing, planowanie, przetwarzanie zleceń, organizacja produkcji, logistyka zaopatrzeniowa i dostawcza, sprzedaż i obsługa klientów, finanse, analizy gospodarcze),
- samowzrost (realizacja założeń budżetowych i ciągła poprawa wskaźników ekonomicznych),
- samoewolucja (nowe produkty i formy ich produkcji, ekspansja rynkowa).

Owe cechy podstawowe składają się na 3 metacechy BSP:

- biorarchia,
- genetyczna reprezentacja informacji (GRI),
- zdolność uczenia się.

Tab. 5.2. Hierarchia biologiczna i bioniczna [5.50]

Organizm żywy	Bioniczny system produkcyjny
komórka (najmniejsza, zorganizowana jednostka żywej materii)	podstawowa jednostka produkcyjna, np. elastyczny moduł produkcyjny (robot, obrabiarka, magazyn części lub narzędzi, sterowanie lokalne)
różne rodzaje komórek (różnice w aktywacji tej samej informacji genetycznej w ramach organizmu)	różne rodzaje komórek produkcyjnych, korzystające z różnych fragmentów tego samego systemu informacyjnego przedsiębiorstwa
czynności życiowe komórki, strumienie chemiczno-elektryczne (enzymy, hormony)	operacje produkcyjne, przepływy materiałowo-energetyczno-informacyjne (koordynacja, sterowanie)
tkanka (zespoły komórek o podobnej budowie i pochodzeniu, wspólnie spełniających określoną funkcję)	zespół podstawowych jednostek produkcyjnych, np. elastyczne gniazdo produkcyjne dla rodziny technologicznej części wyrobów (roboty, centra obróbcze)
organ/narząd (wyodrębnione morfologicznie zespoły tkanek spełniające złożone funkcje organizmu)	wyodrębnione organizacyjnie zespoły gniazd i modułów np. elastyczna linia wytwórcza wytwarzająca podzespoły czy wyroby gotowe
układ (zespół współpracujących narządów wykonujących najbardziej istotne funkcje organizmu, np. oddychanie, trawienie)	elastyczne wydziały czy zakłady spełniające fundamentalne funkcje produkcyjne, np. gospodarka transportowa czy magazynowa, podsystem wytwórczy czy inne podsystemy
organizm	przedsiębiorstwo jako bioniczny system produkcyjny
społeczeństwo	partnersko konkurujące przedsiębiorstwa

Biorarchia (*bionic hierarchy* – hierarchia bioniczna) oznacza rozproszone struktury cechujące się znacznym stopniem odpowiedzialności lokalnej i agregowanie poziomami aż do najwyższego (np. mózg w organizmie człowieka). Biorarchia jest bardziej efektywna i elastyczna niż tradycyjne, scentralizowane hierarchie. **Genetyczna reprezentacja informacji (GRI)** gwarantuje zdolność jej dziedziczenia. Oczywiście proste formy takiej zdolności znaleźć można już w klasycznych rozwinięciach listy części wyrobu BOM (ang. *Bill of Materials*), aczkolwiek ważna jest tu także ich reprezentacja programowa.

Jak wiadomo, w ciągle popularnych relacyjnych systemach bazodanowych tabelarycznie grupowane rekordy przetwarzane są proceduralnie. W istocie oznacza to większą elastyczność w porównaniu ze sztywnymi schematami hierarchiczno-sieciowymi, z uwagi na powiązania między obiektami tworzone *ad hoc*, podczas wykonywania się programu. Niemniej programowanie obiektowe z definicji hermetyzuje procedury i koncentrując się na samych związkach między obiektami czyni z dziedziczenia swój paradygmat projektowy.

W żywym organizmie wadliwy ciąg nukleotydów prowadzi do wadliwych genów, a w konsekwencji do wadliwych protein, a więc choroby czy śmierci. W sferze BMS, przetwarzającego genetyczne informacje produkcyjne, analogia jest oczywista: wadliwy ciąg bitów prowadzi do wadliwego oprogramowania przetwarzającego wadliwe dane i w konsekwencji do strat produkcyjnych. Zakłada się jednak, że naturalne wzorce genetyczne dają większe gwarancje elastycznej niezawodności niż oprogramowanie tradycyjne.

Ostatnia metacecha BSP – **zdolność uczenia się** – ma ciągle, w znacznym stopniu, charakter postulatyczny. Warunkiem dla istnienia oprogramowania samouczącego się jest jego samomodifikowalność, tymczasem cecha ta występuje jedynie w bardzo wąskim rozumieniu tego terminu. Warto zauważyć, że pojawienia się samouczącego algorytmu produkcyjnego należy oczekiwać raczej nie na drodze tworzenia rozbudowanych, zamkniętych systemów o charakterze wyspowym (*stand alone*), ale w efekcie wzrostu złożoności dynamicznych systemów, składających się z dużych zbiorów, stosunkowo prostych, reagujących ze sobą autonomicznych modułów (agentów). Takie podejście koresponduje również z genetycznym paradygmatem funkcjonowania systemów: zaledwie czteroliterowy alfabet nukleotydów DNA jest podstawą dla 20-literowego alfabetu aminokwasów tworzących zbiór genów, wprawdzie znacznie większy, bo liczony już w tysiącach, niemniej bardzo ograniczony, zważywszy różnorodność otaczających nas form organizmów z bogactwem człowieczeństwa włącznie.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, można powiedzieć, iż: BSP = bioarchia + GRI.

Aby korzystać z doświadczeń natury, należy wyspecyfikować relacje między systemem żywym a wytwórczym dla zdefiniowania biorarchii. W systemie żywym jej odpowiednikiem jest 5 podstawowych poziomów: komórka, tkanka, organ, układ, organizm (zob. tab. 5.2).

Należy wyraźnie podkreślić, że trzeba traktować je wyłącznie jako strategiczny punkt wyjścia do definiowania bardziej szczegółowych zależności w rozważanym obszarze, z uwagi na jego złożoność, zarówno w sferze biologicznej, jak i produkcyjnej.

5.7. Wirtualne systemy produkcyjne (WSP)

Łatwo zauważyć, że konkurujące ze sobą przedsiębiorstwa mają dzisiaj dostęp do tych samych środków produkcji, tak samo wykształconej kadry, a także natrafiają na te same wymagania klientów. Oznacza to, że konkurencyjność przedsiębiorstwa warunkowana jest umiejętnością jego szybkiej oceny rynku konsumenta, a także zdolności do szybkiej reakcji na obserwowane zmiany i implikowane przez nie potrzeby.

Rosnące wymagania rynku klienta wymuszają rezygnację ze strategii maksymalizujących stopień wykorzystania środków produkcji na rzecz strategii maksymalnego zaspokojenia oczekiwań klienta (oczekiwań związanych przede wszystkim z terminowością i zróżnicowaniem wielkości dostaw wyrobów). Oznacza to, że w czasach, gdy każdy producent może korzystać z tych samych zasobów, konkurencyjność przedsiębiorstwa może się przejawiać jedynie w efektywniejszym sposobie ich wykorzystania, tzn. w lepszym sposobie zarządzania przepływem produkcji (np. sprawniejszym obiegu dokumentów, skróceniu przestojów, wyeliminowaniu zbędnych czynności, itp.). Inaczej mówiąc, przy takich samych możliwościach wzajemnie konkurujących ze sobą przedsiębiorstw konkurować można tylko w obszarze wypracowywania lepszych lub gorszych decyzji. Obserwowana potrzeba podejmowania szybkich i trafnych decyzji implikuje zatem konieczność korzystania z dostępnych technologii informacyjnych oraz implementowanych w nich modeli wspomagania decyzji [5.5,5.8,5.11,5.12].

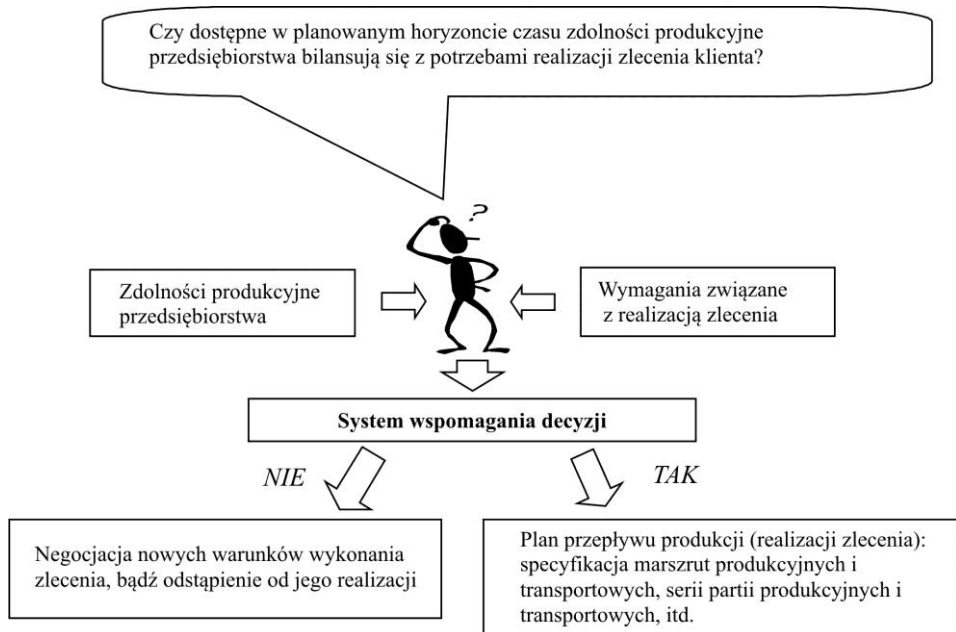
5.7.1. Zarządzanie przepływem produkcji

Obserwowaną tendencją rozwoju współczesnych systemów wytwórczych jest dążenie do zapewnienia pełnej autonomii poszczególnych komponentów składowych systemu produkcyjnego (maszyn i urządzeń) oraz dążenie do zapewnienia możliwości elastycznej (programowanej) integracji tychże komponentów odpowiadającej aktualnym potrzebom rynku. Przyjmując, że termin „produkcja” obejmuje różnorodne procesy, związane z technicznym przygotowaniem produkcji, wytwarzaniem, utrzymaniem, transportem i składowaniem, dystrybucją, itp., a pod terminem „proces” rozumiany jest uporządkowany w czasie ciąg działań zachodzących po sobie, działań zmieniających stan, kształt, właściwości obiektów wejściowych (informacji, surowców, półproduktów), działań realizowanych na dostępnych zasobach produkcyjnych (stanowiskach, maszynach, itp.), pod pojęciem „przepływ produkcji” rozumiany będzie dalej strumień działań występujących we wszystkich tych procesach, które stanowią o charakterze produkcji danego wyrobu lub usługi. Przyjęte rozumienie przepływu produkcji jest szersze od zwyczajowo stosowanego, ograniczającego się, w zasadzie, do procesów wytwórczych bezpośrednio związanych z wytworzeniem produktu lub usługi – rozumianego jako przepływ materiałów i wyrobów.

Tak rozumiany przepływ pozwala uwzględnić systemowy charakter produkcji, wyrażający się m.in. we wzajemnym przenikaniu się różnorodnych, co do swojej natury i charakteru strumieni materiałowych, energetycznych, finansowych i informacyjnych. Umożliwia postrzeganie zarządzania produkcją, jako procesu zarządzania odpowiednim kontekstem przepływu produkcji (np. transportu i składowania), a w konsekwencji integrację różnych obszarów zarządzana: zasobami ludzkimi, finansami, kontaktami z klientem, wytwarzaniem, remontami, itp.

Jak już wspomniano, o sukcesie przedsiębiorstwa decyduje m.in. zdolność do szybkiego (w trybie na bieżąco) podejmowania trafnych decyzji. Pamiętając, że wzmiankowana wyżej trafność decyzji odnosi się głównie do gwarancji terminowego ukończenia przyjętego zlecenia produkcyjnego (tak po zadanych kosztach, jak i przy spełnieniu zakładanych wymagań jakościowych), podstawowe, związane z tym pytanie, przyjmuje postać: Czy dostępne w planowanym horyzoncie czasu zdolności produkcyjne przedsiębiorstwa bilansują się z potrzebami realizacji zlecenia klienta?

Rozważany problem decyzyjny przyjmuje następującą postać (patrz rys. 5.11): Dane jest przedsiębiorstwo produkcyjne realizujące, w zadanym horyzoncie czasu, zbiór zleceń produkcyjnych. Przedsiębiorstwo to nie wykorzystuje wszystkich zdolności produkcyjnych, tzn. znane są okresy, w których określone ilości poszczególnych klas zasobów (stanowisk pracy, pracowników, magazynów, pieniędzy, itp.) pozostają niewykorzystane. Nowowprowadzane zlecenie produkcyjne charakteryzują dwa ograniczenia: wielkość produkcji oraz termin i koszt jej realizacji. Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy zlecenie to może być przyjęte do realizacji w zakładanym horyzoncie czasu? Przedstawiony przykład pozwala zauważyć, że **sformułowanie problemu** sprowadza się do podania trzech elementów: **danych** (np. zdolności i zlecenia produkcyjne), **ograniczeń** (np. cykl produkcyjny) oraz **pytania** (Czy cykl produkcyjny nie przekroczy zadanego horyzontu czasu?). Jeżeli pytanie sugeruje odpowiedź typu **TAK** lub **NIE** to rozważany problem ma charakter decyzyjny, jeżeli natomiast istotą pytania jest ekstremalna wartość funkcji celu, wówczas problem ma charakter optymalizacyjny. W ogólnym przypadku, dane traktowane, jako tzw. zmienne decyzyjne mogą przyjmować wartości dokładne lub przybliżone, z określonych (ciągłych lub dyskretnych, skończonych lub też nie) dziedzin. Z kolei, ograniczenia mogą przyjmować postać różnych relacji algebraicznych lub logicznych. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że pierwsze dwa, z wyżej wymienionych składników opisu problemu mogą być interpretowane, jako **model** rozważanego obiektu, determinujący założenia, przy których poszukiwana jest odpowiedź na postawione, sformułowane w trzecim składniku, pytanie.



Rys. 5.11. Problem decyzyjny podejmowania nowych zleceń produkcyjnych

To, co stanowi o istocie wyżej sformułowanego problemu [5.2,5.5] to fakt, że o istnieniu jego rozwiązania nie można przesądzać *a priori*. Stwierdzenie, że potrzeby związane z realizacją planowanego zlecenia faktycznie bilansują się z możliwościami (tzn. zdolnościami produkcyjnymi) przedsiębiorstwa od momentu rozpoczęcia zlecenia do jego ukończenia, wymaga stwierdzenia, że bilans ten zachodzi w każdej chwili rozważanego horyzontu czasu. Z kolei, odpowiedź na pytanie: Czy jest to, w ogóle możliwe? wymaga nakładów czasowych rosnących, co najmniej eksponentalnie wraz ze wzrostem rozmiaru problemu, tzn. z liczbą dostępnych zasobów, liczbą realizowanych zleceń, wielkościami partii produkcyjnych itp. Spostrzeżenie to zwraca uwagę na diofantyczny charakter tej klasy problemów, rozstrzygalność których nie jest w ogólnym przypadku gwarantowana.

Potwierdzenie zachodzenia bilansu wiąże się z podaniem marszrut produkcyjnych i transportowych, wielkości partii produkcyjnych i transportowych, a także harmonogramów przebiegu poszczególnych procesów (tak podstawowych, jak i pomocniczych), inaczej mówiąc planu przebiegu procesu wytwórczego gwarantującego zadany cykl produkcyjny. Brak bilansowania się odpowiednich potrzeb i możliwości, wiąże się z kolejnymi pytaniami, jak na przykład: Jakich zdolności produkcyjnych (np. stanowisk pracy, pracowników, itp.) i w jakiej ilości brakuje dla spełnienia warunków zachodzenia bilansu? Odpowiedź na tego typu pytanie wiąże się z koniecznością przeformułowania

problemu, w szczególności sprowadzającej się do rozszerzenia rozważanego modelu o elementy umożliwiające np. zakup, leasing bądź też outsourcing odpowiednich zasobów. Spostrzeżenie to, podkreślające możliwości wynikające z „outsourcingu” zdolności produkcyjnych prowadzi do nowej klasy problemów planowania produkcji w systemach wirtualnego wytwarzania, tzn. sieci przedsiębiorstw współpracujących na zasadzie udostępniania własnych zasobów we wspólnie realizowanym procesie produkcyjnym.

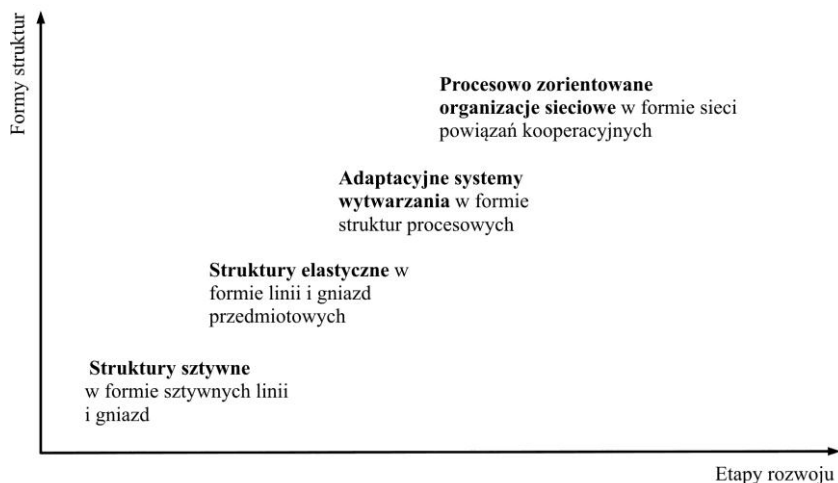
Jeszcze inna, kolejna klasa problemów decyzyjnych dotyczy sytuacji, w których przychodzi rozstrzygać o ewentualnym wstrzymaniu produkcji jednego z aktualnie realizowanych zleceń i/lub reorganizacji aktualnie przyjętego sposobu przepływu produkcji (np. zmiany wielkości partii produkcyjnej, marszrut produkcyjnych itp.).

W zależności od zasad warunkujących cel i wielkość przepływu produkcji wyróżnić można paradygmaty: „ssania”, „tłoczenia” i „wyciskania” produkcji. Paradygmaty te znajdują swoje rozwinięcie w metodach implementujących najczęściej stosowane strategie sterowania przepływem produkcji, odpowiednio *Just-in-Time*, *Enterprise Resources Planning* oraz *Optimized Production Technology* [5.8, 5.12, 5.15]. Wykorzystywanymi w tych strategiach zasadami są odpowiednio zasada „stop dla działań niewnoszących wartości dodanej”, „niebilansujących się potrzeb materiałowych, zdolności produkcyjnych, płynności finansowej” oraz „stop dla działań nieuwzględniających ograniczeń strumienia zysku”. Wymienione strategie realizują cele związane odpowiednio z: dyspozycyjnością wobec oczekiwań (zamówień) klienta, racjonalnym (oszczędnym) wykorzystaniem dostępnych zasobów produkcyjnych oraz maksymalizacją strumienia zysku.

Oprócz paradygmatów determinujących sposób wymuszający przepływ produkcji, należy również zwrócić uwagę na inne, znajdujące swoje odbicie w organizacji produkcji akcentujące np. fraktalność struktury organizacyjnej, bądź też jej wydziałowy lub procesowy (zadaniowy) charakter. W odróżnieniu od klasycznego, wydziałowego (tzn. funkcjonalnego) sposobu organizacji produkcji, akcentującego optymalne wykorzystanie zdolności produkcyjnych, **zarządzanie procesowe** (podejście procesowe) koncentruje się na organizacji produkcji zorientowanej na indywidualnego klienta, tzn. na wykonaniu (obsłudze) jego indywidualnego zlecenia [5.6–5.8].

Istotą zarządzania procesowego jest równoległe, zindywidualizowane prowadzenie wyodrębnionych zleceń produkcyjnych, realizacja których nie prowadzi do powstawania strat obciążających inne procesy. W szczególności oznacza to, że poszczególne przepływy produkcji korzystają z dostępu do wydzielonych klas zasobów, bądź też korzystając z dostępu do wspólnych zasobów systemu wytwórczego nie wpływają na przebieg innych procesów. Strategia ta w bezpośredni sposób uwzględniająca zindywidualizowane potrzeby klientów, jest strategią orientującą producenta na bieżące potrzeby rynku klienta.

W odpowiedzi na te potrzeby powstała nowa generacja struktur systemów wytwórczych (patrz rys. 5.12) – procesowo zorientowanych **organizacji sieciowych** umożliwiających tworzenie wirtualnych systemów produkcyjnych.



Rys. 5.12. Ewolucja struktur systemów wytwórczych

Nowe podejście do organizacji zasobów pozwala odejść od tradycyjnej „orientacji na zdolności produkcyjne” na rzecz „orientacji na strumień materiału (proces)”, a w konsekwencji od „sterowania programem produkcyjnym” na rzecz „sterowania zleceniami w formie zadań projektowych”. Konsekwencją tych zmian stało się odejście od struktur funkcjonalnie zorganizowanych i zarządzanych systemowo na rzecz sieciowych (wirtualnych) procesowo zorganizowanych struktur w sposób naturalny umożliwiających zarządzanie indywidualnym zleceniem (procesem) klienta. Wprowadzenie tych zmian pozwala na tworzenie **dynamicznych logicznych struktur wytwarzania**, dostosowujących swoje możliwości do potrzeb otoczenia.

5.7.2. Wirtualne przedsiębiorstwo

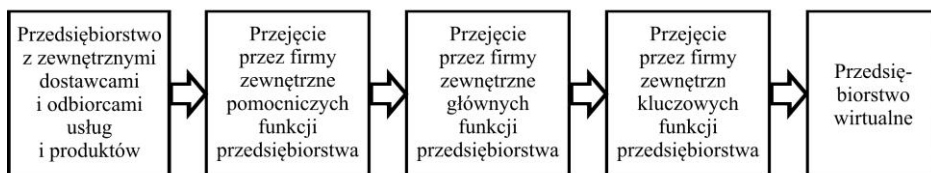
Organizacja sieciowa tworzona jest na zasadzie dobrowolności przez różnego typu organizacje, a jej uczestnicy wchodzi z sobą w różnego typu związki, aby realizować wspólny cel (przykładowo określony projekt). Organizacje te wchodzi z sobą w związki, które ułatwiają narzędzia ICT. Celem takich związków są wynikające z efektu synergicznego współdziałania, korzyści przynoszone wszystkim ich uczestnikom. Zakłada się przy tym, że korzyści poszczególnych jednostek tworzących nową organizację powinny być większe niż wtedy, gdyby działały one w tradycyjny, zindywidualizowany sposób. Cele te winny być

osiągane poprzez harmonizację i integrację poszczególnych procesów, podprocesów z odpowiedzialnością funkcjonalną skoordynowaną przez **logikę procesu**. W tym kontekście termin „wirtualność” kojarzony jest z sieciami instytucji, zespołów i ludzi zorganizowanych w luźno związanych, niezdefiniowanych strukturach, których łączy wspólny cel polegający na świadczeniu produkcji wyrobów lub usług na rzecz klienta.

Organizacja sieciowa umożliwiająca szybkie i efektywne reagowanie na potrzeby rynku, zwiększa więc konkurencyjność uczestniczących w niej podmiotów pozwalając skoncentrować się na tych zleceniach, których realizacja umożliwi najlepsze (np. pełniejsze) wykorzystanie posiadanych zdolności produkcyjnych. Jest to możliwe dzięki temu, że w strukturach tego typu w sposób naturalny realizowana jest zasada bilansowania potrzeb warunkujących realizację planowanego zlecenia produkcyjnego ze zmienną w czasie ilością dostępnych zasobów, mocy produkcyjnych, przedsiębiorstw. Oznacza to, że zarządzanie przepływem produkcji w wirtualnych systemach produkcyjnych, funkcjonujących w ramach organizacji sieciowych, sprowadza się do alokacji i bilansowania zmiennych w czasie ilości zasobów (oceną stopnia ich wykorzystania i rozwiązywaniem konfliktów przeciążenia), wyznaczania związanych z tym terminów ukończenia zleceń oraz kontroli wykonania zaplanowanych harmonogramów realizacji zleceń.

Alternatywny sposób zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa, również oparty na zasadzie outsourcingu i w konsekwencji prowadzący do rozwiązań typowych dla wirtualnych systemów produkcyjnych wiąże się z ograniczaniem kosztów związanych z tworzeniem i utrzymaniem infrastruktury produkcyjnej poprzez powierzenie firmom zewnętrznym niektórych funkcji przedsiębiorstwa. Idea tej formy wytwarzania, sprowadza się, więc do udostępniania, będących w dyspozycji przedsiębiorstwa, aktualnie niewykorzystanych zdolności produkcyjnych, bądź też do wykorzystania, oferowanych przez inne przedsiębiorstwa, zasobów (zdolności produkcyjnych) niezbędnych do realizacji danego zlecenia. Rozwiązanie takie daje możliwość podejmowania zleceń produkcyjnych przez grupę przedsiębiorstw w sytuacji, gdy np. realizacja danego zlecenia przekracza możliwości każdego z nich z osobna. Strategia ta preferuje produkcję, podjęcie której przekracza możliwości bądź też nie jest opłacalne dla pojedynczych producentów.

Paradygmat stojący za tego typu sposobem zarządzaniem można by nazwać paradygmatem „outsourcing’u”. Ilustrację tego podejścia przedstawia rys. 5.13, akcentujący odchodzenie od konwencjonalnych funkcji przedsiębiorstwa i możliwości uzyskania w ten sposób korzyści wynikających ze zmniejszenia kosztów własnych wynikających z nabycia, wdrożenia, eksploatacji i utrzymania posiadanych środków produkcji.



Rys. 5.13. Koncepcja przejścia od konwencjonalnej do wirtualnej struktury

Powstanie wirtualnego przedsiębiorstwa odpowiadającego na aktualne zapotrzebowanie rynku konsumenta powinno być każdorazowo poprzedzone oceną bilansu potrzeb klienta i możliwości dostępnej organizacji sieciowej, także oceną konkurencyjności tego typu rozwiązania względem rozwiązań konwencjonalnych [5.3,5.9,5.16]. Nawigowanie w tej przestrzeni ocen potrzeb i możliwości umożliwiają współczesne technologie IT i implementowane w nich systemy wspomagania decyzji. W rozważanym kontekście, narzędzia te powinny umożliwiać przedsiębiorstwom odpowiedź na pytanie: Czy istnieje plan przepływu produkcji gwarantujący oczekiwany sposób realizacji zlecenia produkcyjnego (np. w kontekście kosztów, terminów, jakości) w zasobach dostępnej organizacji sieciowej?

5.7.3. Prototypowanie wirtualnych systemów produkcyjnych

Konsekwencją zmian zachodzących w otoczeniu przedsiębiorstw jest rosnąca liczba zleceń o charakterze projektów (przedsięwzięć). Oznacza to, że podejmowane zlecenia, ze względu na swą niepowtarzalność i brak rutynowego schematu podejmowania decyzji, mogą być traktowane jako zlecenia typu projekt. W przedsiębiorstwach produkcyjnych zarządzanie zleceniami o takim charakterze odpowiada zarządzaniu procesami biznesowymi i sprowadza się do alokacji i bilansowania, zmiennej w czasie, liczby zasobów, wyznaczania związanych z tym terminów ukończenia zleceń oraz kontroli wykonania zaplanowanych harmonogramów ich realizacji. Jednoczesna realizacja różnych zleceń-projektów, a zatem związanych z nimi przepływów produkcji, wiąże się z koniecznością oceny terminowo-kosztowych możliwości realizacji każdego nowoprzyjmuwanego zlecenia (grupy zleceń).

Z perspektywy organizacji sieciowych i możliwości tworzenia w ich środowisku wirtualnych przedsiębiorstw, zagadnienia planowania przepływu produkcji wiążą się z rozwiązywaniem szeregu problemów cząstkowych, związanych m.in. z wyznaczaniem marszrut technologicznych wytwarzanych wyrobów, łańcuchów dostaw, marszrut transportowych, wielkości partii produkcyjnych i partii transportowych, a także szeregowaniem współbieżnie realizowanych zadań wytwórczych i transportowych. Ich prototypowanie sprowadza się do oceny alternatywnych wariantów dopuszczalnego planu przepływu produkcji, planu uwzględniającego realizację potencjalnych zleceń oraz aktualnie dostępnych możliwości organizacji sieciowej.

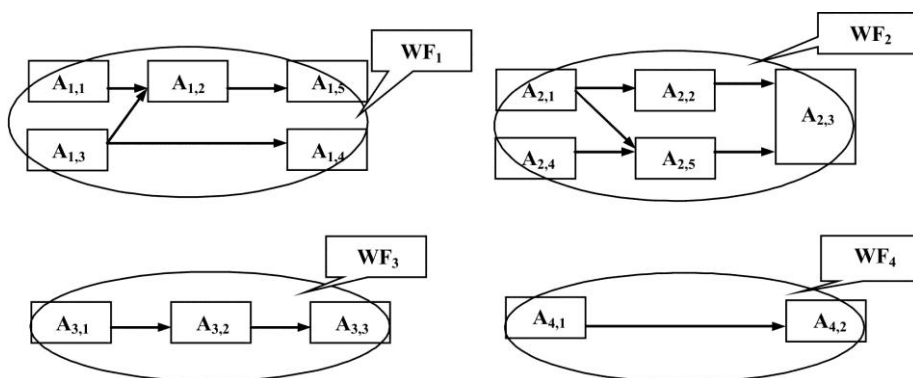
Celem ilustracji problemu prototypowania przedsiębiorstw wirtualnych rozważmy następujący przykład. Dany jest zbiór przedsiębiorstw (produkcyjnych i usługowych) rozlokowanych w znanej infrastrukturze transportu lądowego i dysponujących, w zadanym horyzoncie czasu, nie w pełni wykorzystanymi zdolnościami produkcyjnymi. Przyjmuje się, że znane są okresy, w których określone ilości poszczególnych klas zasobów (stanowisk pracy, pracowników, magazynów, pieniędzy itp.), poszczególnych przedsiębiorstw pozostają wolne. Znane jest zlecenie produkcyjne opisane wielkością produkcji oraz nieprzekraczalnymi: terminem i kosztem jego realizacji. Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy istnieje taki podzbiór przedsiębiorstw (tzn. odpowiadające mu przedsiębiorstwo wirtualne), którego zdolności produkcyjne gwarantują terminową, nie przekraczającą planowanych kosztów, realizację zlecenia?

Łatwo zauważyć, że tak sformułowane pytanie stanowi rozszerzenie problemu sterowania przepływem produkcji w pojedynczym przedsiębiorstwie (problemu obejmującego marszrutowanie, porcjowanie i harmonogramowanie poszczególnych grup asortymentów oraz wzajemne interakcje strumieni palet i narzędzi, półfabrykatów, wyrobów, robotów mobilnych itp.) o zagadnienia wyznaczania struktur organizacyjnych przepływów pracy w zbiorach przedsiębiorstw organizacji sieciowej. W dużym uproszczeniu oznacza to, że wybór danego podzbioru przedsiębiorstw odpowiada wariantowi potencjalnej marszruty przepływu produkcji. Sprawdzenie z kolei, czy marszruta ta jest dopuszczalna czy nie sprowadza się do problemu sterowania przepływem produkcji – tzn. do odpowiedzi na pytanie czy przy ograniczeniach zasobowych, wynikających z wcześniejszego wyboru marszruty, rozważane zlecenie zostanie wykonane w planowanym terminie?

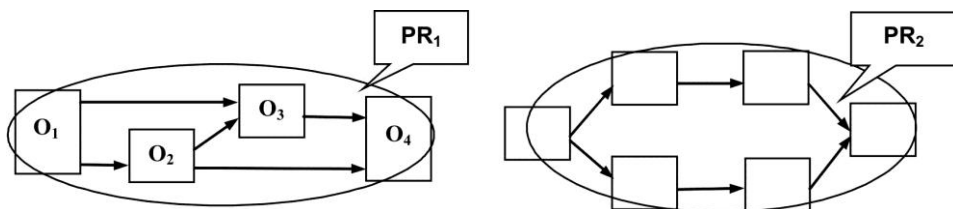
Dostępne narzędzia wspomagające planowanie przepływu produkcji pozwalają planować tzn. bilansować realizacje zleceń produkcyjnych, np. odpowiadać na pytania dotyczące: terminu ukończenia zlecenia, gdy znane są ograniczenia zdolności produkcyjnej przedsiębiorstw wchodzących w skład organizacji sieciowej, wystarczalności dostępnych zasobów dla terminowej realizacji przedsięwzięcia itp. Nie pozwalają jednak odpowiedzieć np. na pytanie, czy w zadanym horyzoncie czasu, realizacja danego zlecenia produkcyjnego nie przekroczy zadanego limitu dostępnych zasobów? Oznacza to, że uzyskiwane rozwiązania odpowiadają uśrednionym, w danym horyzoncie czasu, bilansom zasobów. Nie gwarantują zatem „chwilowej” realizowalności zestawianych bilansów. Innymi słowy, nie gwarantują, że w każdym momencie realizacji przedsięwzięcia liczba zasobów niezbędnych dla jego wykonania będzie wystarczająca. Nie gwarantują tego m.in. z powodu braku oceny (braku uwzględnienia przy planowaniu) konsekwencji przejścia systemu do stanu, w którym zasoby zostały rozdysponowane w sposób uniemożliwiający dalszą realizację projektu (np. przekraczają dzienny budżet). Sytuacje takie odpowiadające przypadkom związanym z unikaniem blokad (patrz algorytm Bankiera) są m.in. powodem niepowodzeń realizacji wielu przedsięwzięć (niepowodzeń związanych z przekroczeniem budżetu bądź też niedotrzymaniem planowanych terminów).

Próbie przezwyciężenia tych trudności stanowią pakiety oprogramowania użytkowego przedstawione w pracach [5.10,5.15,5.16]. Istota rozwiązania implementowanego w jednym z nich [5.5,5.10] sprowadza się do heurystycznego przeszukiwania zbioru potencjalnych wariantów struktur przepływów pracy wirtualnego przedsiębiorstwa. Poszukiwanym wariantem rozwiązania dopuszczalnego jest wariant spełniający ograniczenia zasobowe narzucone na rodzaj i wielkość zdolności produkcyjnych dostępnych przedsiębiorstw oraz terminowo-kosztowe wymagania realizacji zlecenia. Przyjęte w nim rozwiązanie, bazujące na schemacie procedury podziału i ograniczeń oraz metody ścieżki krytycznej, sprowadza się do heurystycznego przeszukiwania zbioru potencjalnych wariantów struktur przepływów produkcji, wariantów spełniających ograniczenia: zasobowe (zdolności produkcyjne) przedsiębiorstw organizacji sieciowej i terminowo-kosztowe realizacji zlecenia produkcyjnego.

Celem ilustracji przedstawionego podejścia rozważmy wyodrębnioną z organizacji sieciowej strukturę potencjalnego przedsiębiorstwa wirtualnego złożoną z czterech przedsiębiorstw $WF_1 - WF_4$. Przepływy pracy charakteryzujące poszczególne przedsiębiorstwa przedstawia rys. 5.14. Zlecenie produkcyjne jest określone przez zbiór alternatywnych marszrut technologicznych (rys. 5.15).

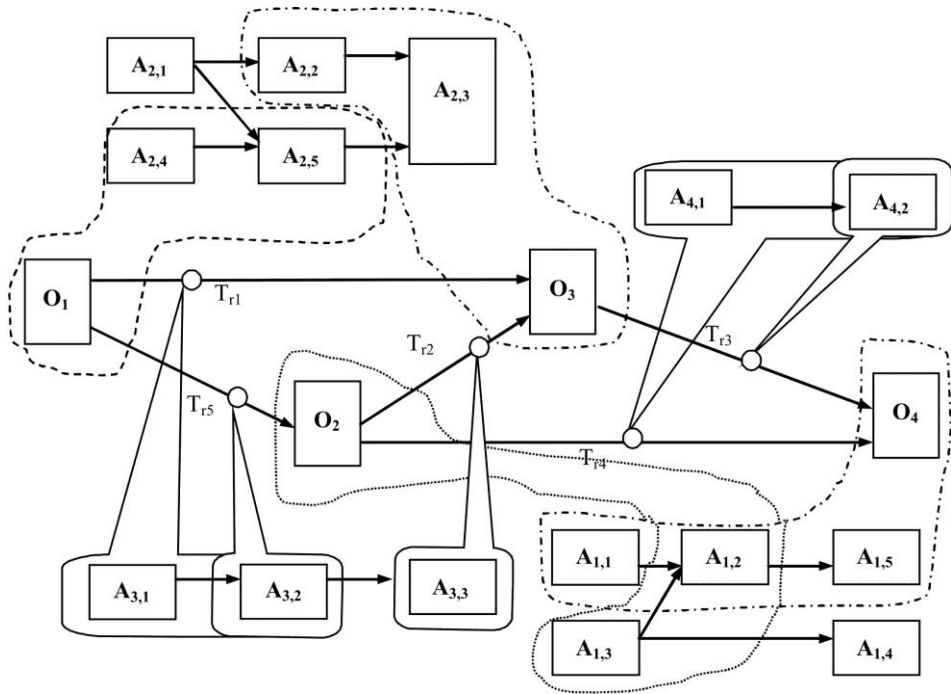


Rys. 5.14. Zbiór przepływów pracy



Rys. 5.15. Zbiór alternatywnych marszrut produkcyjnych

Rozważmy przepływ pracy realizowany w pierwszej z marszrut produkcyjnych PR₁ (patrz rys. 5.16) – zasoby i operacje wymagane do realizacji rozważanego zlecenia produkcyjnego.



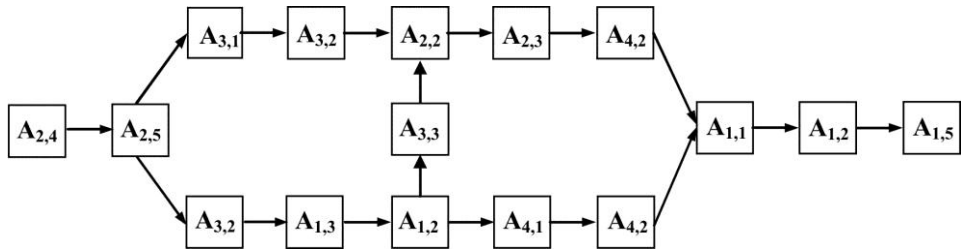
Legenda:

O_1, \dots, O_4 – operacje technologiczne,

T_{r1}, \dots, T_{r5} – operacje transportowe przedmiotów pracy pomiędzy poszczególnymi przedsiębiorstwami.

Rys. 5.16. Schemat przepływu produkcji potencjalnego przedsiębiorstwa wirtualnego

Sieci operacji modelujące przepływ z rys. 5.16 przedstawia graf z rys. 5.17.



Rys. 5.17. Sieć operacji przepływu produkcji w modelowanym przedsiębiorstwie wirtualnym

Dana jest alokacja zasobów do kolejnych operacji (patrz tab. 5.3). Występujące w niej wielkości określają czasy trwania poszczególnych operacji liczone w dniach. Przyjęty horyzont czasu (limitujący czas realizacji zlecenia) wynosi $T_h = 61$ dni. Dyrektywny poziom ceny realizacji zlecenia wynosi $K_h = 300$ PLN. Ograniczenia czasowej dostępności zasobów przedstawia tzw. mapa dostępności zasobów w czasie (tab. 5.4).

Tab. 5.3. Wariant alokacji zasobów

Zasoby	Operacje														
	A1,1	A1,2	A1,3	A1,4	A1,5	A2,1	A2,2	A2,3	A2,4	A2,5	A3,1	A3,2	A3,3	A4,1	A4,2
R1						4		3							
R2							5		5	4					
R3	4		3	5											
R4		4			6			3							
R5											2		1		
R6			3									2			1
R7								3						1	

Tab. 5.4. Mapa dostępności zasobów w czasie. (Wartości elementów tablicy oznaczają koszty wykorzystania zasobów w danej jednostce czasu, koszty równe zero oznaczają brak dostępności do zasobu w danym okresie czasu.)

Zasoby	R1	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5
	R2	0	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	0	0	0	0	0	0	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	R3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	7	7
	R5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	0	0	0	0	0	0	11	11	11	11
	R6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	2	2
	R7	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	9	0	0	0	0	9	9	9
	XI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Zasoby	R1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	R2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	
	R3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	R4	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	R5	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R6	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4
	R7	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	XII	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

W ścieżce krytycznej, wyznaczonej metodą CPM, występują operacje $A_{2,4}$ – $A_{2,5}$ – $A_{3,2}$ – $A_{1,3}$ – $A_{1,2}$ – $A_{3,3}$ – $A_{2,2}$ – $A_{2,3}$ – $A_{4,2}$ – $A_{1,1}$ – $A_{1,2}$ – $A_{1,5}$ determinujące czas realizacji zlecenia na okres 42 dni. Do alokacji zasobów zastosowano heurystykę preferującą najmniejsze średnie koszty wykorzystania zasobu. Uwzględnienie ograniczeń czasowego dostępu prowadzi do wydłużenia czasu cyklu realizacji ścieżki krytycznej do 52 dni (patrz tab. 5.5).

Tab. 5.5. Harmonogram realizacji ścieżki krytycznej

Zasoby	R1	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5		
	R2	0	7	7	7	7	7	7	8	8	8	0	0	0	0	0	0	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	R3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	R4	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	7	
	R5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	0	0	0	0	0	0	11	11	11	11
	R6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	2	2
	R7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	12	9	0	0	0	0	9	9	
XI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Zasoby	R1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	R2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	8	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0		
	R3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	R4	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	R5	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	R6	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	4	4	
	R7	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XII		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Koszt wykorzystania zasobów przydzielonych do ścieżki krytycznej wynosi 261 PLN, margines czasu: $9 = 61 - 53$ dni, a margines kosztu: $39 = 300 - 261$ PLN. Wyznaczone wielkości pozwalają kontynuować proces poszukiwania dopuszczalnego harmonogramu realizacji zlecenia.

Po usunięciu operacji należących do ścieżki krytycznej otrzymujemy dwie podsieci P_1 i P_2 (rys. 5.18). Górne ograniczenia wyznaczonych podsieci wynoszą: 13 dni dla P_1 i 10 dni dla P_2 .



Rys. 5.18. Efekt podziału sieci modelującej porządek czynności niezbędnych do realizacji zlecenia na podsieci

Podsieć P₂ cechuje najmniejsza wartość górnego ograniczenia. Stosując pierwszą z heurystyk poszukiwania rozwiązania należy w pierwszej kolejności rozpatrzyć daną podsieć na mapie dostępności zasobów. Ścieżka krytyczna tej podsieci złożona jest z operacji A_{4,1} – A_{4,2} i odpowiada jej marszruta produkcyjna R₇ – R₆. Margines czasu jest równy 6 dni z kolei margines kosztu wynosi 28 PLN (tab. 5.6). Ponieważ rozpatrywana podsieć składa się z pojedynczej ścieżki z tego względu w kolejnym kroku powinna być rozpatrzona kolejna podsieć, tj. podsieć P₁.

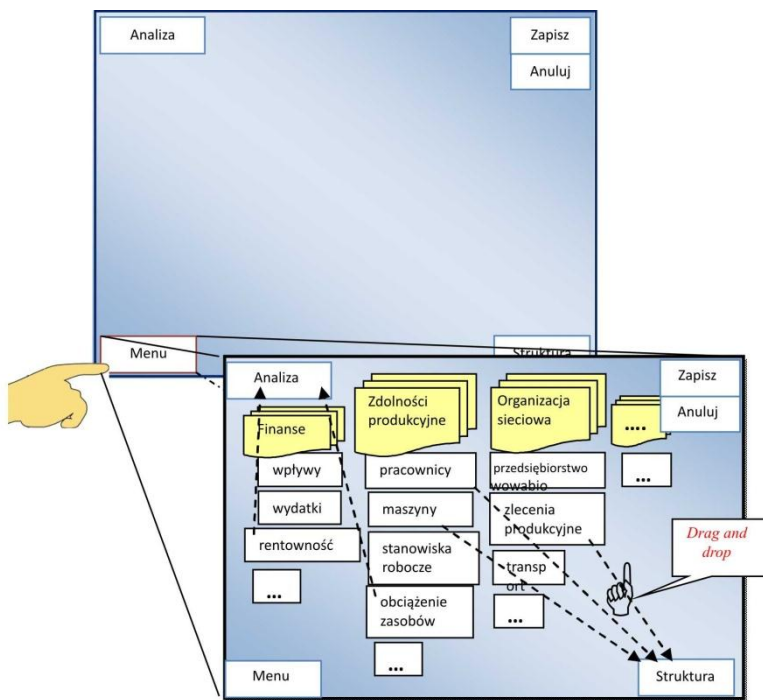
Tab. 5.6. Harmonogram realizacji podsieci P2

Zasoby	R1	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5		
	R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0			
	R3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	R4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	0	0	7
	R5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	
	R6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	2	2	
	R7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	9	0	0	0	0	9	
	XI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Zasoby	R1	5	5	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	R2	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0		
	R3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	R4	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8		
	R5	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	R6	0	0	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	
	R7	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
XII	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		

Alternatywne podejście do prototypowania wirtualnych systemów produkcyjnych, podejście wykorzystujące zasadę modelowania deklaratywnego umożliwiającego implementację rozwiązań obsługiwanych w językach programowania w logice ograniczeń [5.15,5.16] przedstawiono w pracach [5.2,5.4,5.15]. Proponowane tam rozwiązanie interakcyjnego systemu wspomagania decyzji oparte jest na idei przyjaznego, samoorganizującego się wielo-ekranowego interfejsu łączącego technologie *Drag and Drop*, *Touch Screen Panel* i/lub *Virtual Table* [5.15]. W rozważanym kontekście, koncepcja ta nawiązuje do budowy tzw. interakcyjnego systemu nawigacyjnego wariantowania przedsiębiorstw wirtualnych w zasobach organizacji sieciowej.

Przyjmuje się, że dostępny zbiór „folderów” i „zakładek” pozwala ustalić wartości wybranych elementów determinujących strukturę i zachowanie rozważanego systemu „przedsiębiorstwo – zlecenie produkcyjne”. Będący w dyspozycji (wynikający ze specyfiki przyjętego modelu) zestaw zakładek może obejmować: zasoby (różne rodzaje i limity) i ich przydział do czynności, czasy wykonania poszczególnych czynności (nominalne, rozmyte), koszty realizacji zleceń, przychody z tytułu wykonania określonych zadań wchodzących w skład zleceń, a także kryteria oceny efektywności funkcjonowania rozważanego układu, takie jak: czas ukończenia poszczególnych zleceń, terminowość realizacji zleceń, stopień wykorzystania dostępnych zasobów, rentowność danego zlecenia czy pakietu zleceń itp.

Rys. 5.21 przedstawia przykładowy kształt potencjalnej struktury interfejsu systemu. W zależności od sformułowania rozważanego problemu decyzyjnego, ze zbioru dostępnych zakładek zestawia się menu ekranu (ekranów) monitora. Wybrane zakładki rozmieszczane są na ekranie w sposób rozdzielający je na te jego części, które charakteryzują elementy struktury rozważanego układu „organizacja sieciowa – zlecenie produkcyjne” oraz te specyfikujące rozważane kryteria oceny funkcjonowania prototypowanego wariantu przedsiębiorstwa wirtualnego. Przykładowy wybór i rozmieszczenie zakładek przedstawiają rys. 5.21 i rys. 5.22. W przyjętym sposobie rozmieszczania, zakładki opisujące elementy struktury i oceny zachowania (analiza) są zgrupowane odpowiednio w dolnej i górnej części ekranu. W **menu** znajdują się „foldery” obejmujące grupy elementów, które mogą być składowymi struktury przedsiębiorstwa. Za pomocą mechanizmu *Drag and Drop* użytkownik poprzez dotykowy pulpit wybiera interesujące go elementy i przenosi je do zakładki **struktura** lub do zakładki **analiza**. W ten sposób z dostępnego zestawu elementów buduje strukturę dostosowaną do specyfiki rozważanego problemu decyzyjnego.

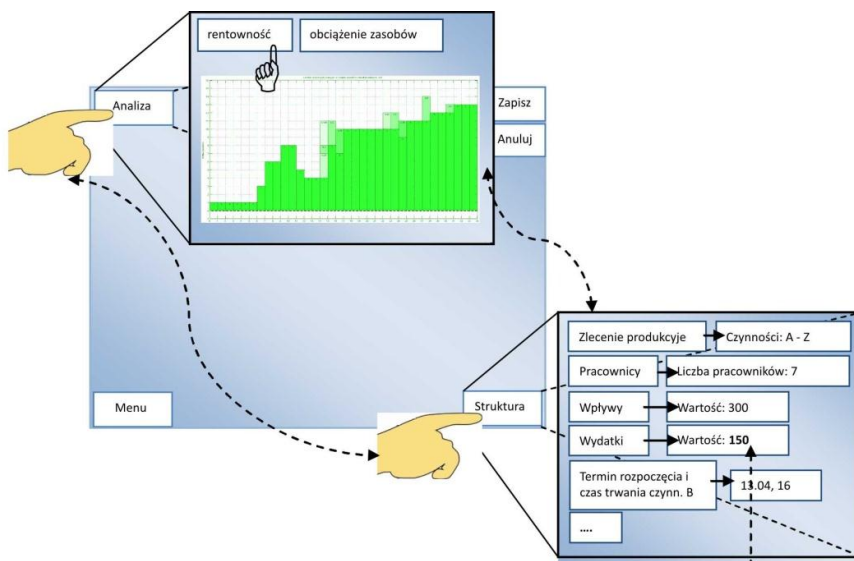


Rys. 5.21. Idea specyfikacji wariantu problemu prototypowania przedsiębiorstwa wirtualnego wykorzystującej możliwości dotykowego ekranu z mechanizmem *Drag and Drop*

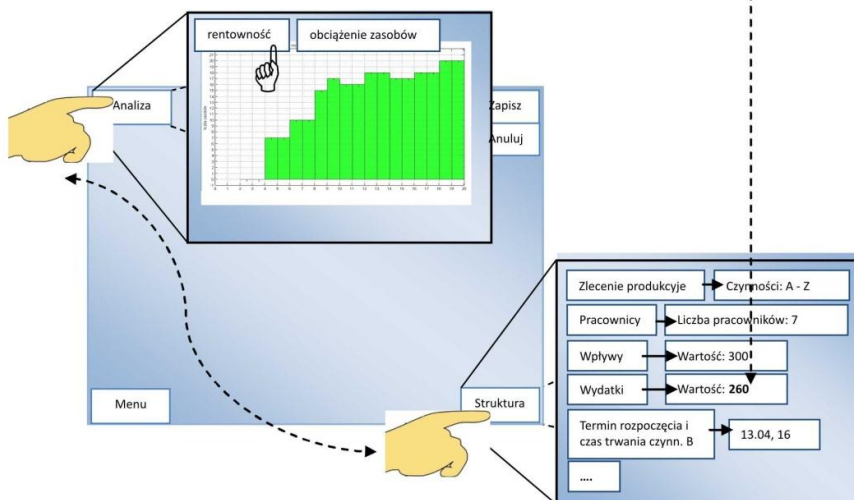
To co interesuje decydenta to przede wszystkim odpowiedź na pytania: Czy uda się wykonać zlecenie zgodnie z oczekiwaniami? (tzn. wykonać je w określonych warunkach osiągając określone zyski), Jakie są alternatywne scenariusze realizacji danego zlecenia (tzn. jakie są konsekwencje podjętych decyzji)? Jakie wybory przedsiębiorstw organizacji sieciowej pozwolą wykonać zlecenia z założoną efektywnością? Odpowiedzi na te pytania powinny być dostarczane decydentowi na bieżąco, jednocześnie ich poszukiwanie, poprzez zastosowanie systemu wspomaganie decyzji, powinno być intuicyjne i przyjazne.

Poszukiwanie rozwiązań oparte jest na implementowanych w rozważanej kategorii systemów wspomaganie decyzji mechanizmach wnioskowania **w przód** oraz **wstecz**. Od strony użytkownika wymagana jest jedynie umiejętność wprowadzania zmian wartości interesujących go parametrów przedsiębiorstwa czy też przedsięwzięcia. Wprowadzone zmiany automatycznie wygenerują odpowie-

dnie modyfikacje planów realizacji danego przedsięwzięcia (rys. 5.23). Zmiany te, można oglądać naciskając zakładkę **analiza** aktywująca, wybrane wcześniej przez użytkownika analizy dotyczące, np.: harmonogramu realizacji, obciążenia zasobów odnawialnych oraz finansowych przedsiębiorstw wchodzących w skład wirtualnego systemu produkcyjnego.



Rys. 5.22 Wprowadzenie wartości wybranych parametrów struktury przedsiębiorstwa



Rys. 5.23. Wizualizacja zmian wartości określonych kryteriów oceny (np. rentowność) przy zmianie wybranych wartości parametrów przedsiębiorstw składowych

Innymi słowy, proponowane rozwiązanie pozwala użytkownikowi na aktywowanie poszczególnych, ustalonych fragmentów zespołu ekranów odpowiadających wybranym parametrom (charakterystykom) przedsiębiorstwa, co wymusza, (jako swoiste reakcje) zmiany parametrów przypisanych do pozostałych okienek ekranów. Przedstawione zachowanie odpowiada sytuacji, w której każdej zmianie parametrów strukturalnych organizacji sieciowej i wchodzących w jej skład przedsiębiorstw towarzyszy odpowiadająca jej zmiana odpowiednich charakterystyk funkcjonalnych wirtualnego systemu produkcyjnego (rys. 5.22, 5.23). Działanie takie w sposób intuicyjny, pozwala swobodnie i w trybie „on-line” analizować różne reakcje wariantowanego przedsiębiorstwa wirtualnego na zmieniające się oczekiwania rynku konsumenta oraz podejmować stosowne decyzje.

Wybór i rozmieszczenie zakładek odpowiada przyjęciu sytuacji związanej z pewną grą. Celem tej gry może być poszukiwanie takich elementów struktury, np.: reguł decyzyjnych, limitów zasobów, kosztów, które bądź to ekstremalizują zadany zbiór kryteriów, bądź też gwarantują (wystarczają) osiągnięcie zadanych wartości rozważanego zbioru kryteriów, np.: terminowości, stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnych, kosztów itp. Oznacza to, że w pierwszym wypadku poszukiwana jest taka organizacja struktury układu („wirtualne przedsiębiorstwo – realizowane w nim zlecenie”), która ekstremalizuje zadane kryteria jego funkcjonowania, w drugim zaś poszukiwana jest taka struktura wirtualnego przedsiębiorstwa (np. dopuszczalna), która gwarantuje oczekiwane wartości parametrów charakteryzujących jego funkcjonowanie (np. efektywność, czy też elastyczność). Odpowiadające przedstawionym strategiom scenariusze (warianty) postępowania sprowadzają się w pierwszym przypadku do: arbitralnego ustalenia wartości wybranych parametrów struktury układu oraz oceny wpływu w ten sposób wprowadzonych zmian na wartości wybranych kryteriów oceny funkcjonowania układu, w drugim zaś do ustalenia wartości wybranych kryteriów oceny i sprawdzenia, czy w zadanych przedziałach zmienności parametrów opisujących strukturę układu istnieją takie ich wartości, które gwarantują spełnienie przyjętych kryteriów funkcjonowania.

Warto zauważyć, że pierwszy z rozważanych przypadków wykorzystywany jest w metodzie zoptymalizowanego przepływu produkcji (ang. **Optimized Production Technology**) sprowadzającej się do przeszukiwania przestrzeni potencjalnych rozwiązań strukturalno-organizacyjnych układu „wirtualne przedsiębiorstwo – realizowane w nim zlecenie” pod kątem rozwiązań ekstremalizujących przepływ produkcji (związany z nim strumień zysku). W ogólnym przypadku, przedstawione podejście wykorzystuje paradygmat nierozstrzygalności problemów diofantycznych. Charakter tego typu problemów posiada większość problemów harmonogramowania typu „*timetabling*”. Uwaga ta wynika z obserwacji, że wartości pewnych parametrów występujących w problemach diofantycznych, są ograniczone do pewnych podzbiorów liczb naturalnych. Oznacza to, że pożądane wartości funkcji celu, na ogół łatwiej osiąga się na

drodze syntezy odpowiedniej struktury systemu (gwarantującej oczekiwane jego funkcjonowanie), niż na drodze analizy potencjalnych (z reguły rosnących wykładniczo) wariantów zachowania wynikających z ograniczeń arbitralnie zadanej struktury. Przykładem ilustrującym tę tezę jest np. problem takiej organizacji ruchu miejskiego, w której każda ulica, dowolnego miasta, w każdym kierunku stanowiłaby część zielonej fali.

Warto również podkreślić, że komputerowe implementacje tego typu rozwiązań mogą być wykorzystywane zarówno w trybie „on-line” w procesie podejmowania decyzji jak i w trybie „off-line” np. w procesach doskonalenia (treningu) umiejętności managerskich.

Osobną, nieporuszaną tutaj (m.in. z uwagi na ograniczoność dostępnego miejsca) jest kwestia wirtualizacji rozumianej jako zastępowanie materii informacją, a w szczególności zagadnienia związane z budową i wykorzystaniem środowisk wirtualnego prototypowania – od koncepcji cyfrowej fabryki począwszy, poprzez wzbogaconą (rozszerzoną) rzeczywistość Augmented Reality [5.1] łączącą świat rzeczywisty z generowanym komputerowo, na szybkim prototypowaniu **Rapid prototyping** [5.36] służącym do szybkiej, precyzyjnej i powtarzalnej produkcji elementów w technologii addytywnej (np. z wykorzystaniem technik druku przestrzennego), skończywszy.

5.8. Inteligentne systemy produkcyjne (ISP)

Za **inteligentny system produkcyjny (ISP)** uważa się taki system produkcyjny, który efektywnie integruje inteligencję ludzką z jej materialnym otoczeniem wytwórczym. Zakłada się zatem, że naturalna inteligencja człowieka może podlegać ograniczeniom w złożonym „nieinteligentnym” systemie produkcyjnym. Celem projektowania tak rozumianych ISP nie jest więc autonomiczny, zautomatyzowany system zdolny do inteligentnych zachowań jako całość w sensie „silnej” sztucznej inteligencji (*strong artificial intelligence*), Zaproponowana definicja uwzględnia elastyczność systemu produkcyjnego. Jednocześnie, realistycznie traktując aktualne możliwości technologii informatycznych IT (*Information Technology*), nie wyklucza ona stosowania sztucznej inteligencji jako rozwiązań cząstkowych w podsystemach przedsiębiorstwa [5.41].

Można zatem stwierdzić, że **inteligentny system produkcyjny** jest takim ESP, w którym dominującym rodzajem elastyczności jest elastyczność informacyjna. Ten rodzaj elastyczności pełni bowiem rolę metacechy w odniesieniu do innych rodzajów elastyczności (np. automatyzacji strukturalnej, asortymentowej, marszrut, przebrojeń). Jednocześnie czynnikiem integrującym transformację, prowadzącą od klasycznie rozumianych systemów produkcyjnych do ISP jest **informacja** (tab. 5.6) [5.49].

Istotną kwestią jest identyfikacja związków cech rozwojowych ISP z metodami zarządzania ISP. W zasadzie wskazać można cztery trendy rozwoju w obszarze IT [5.47]:

1. **Miniaturyzacja** – każdy innowacyjny system stara się minimalizować fizyczne parametry przetwarzanej materii oraz skojarzonych strumieni zasileń (np. energetycznych). W szczególności dotyczy to mikro-elektroniki, czyli sprzętu informatycznego.
2. **Sięciowość** – sieciowość IT widać wyraźnie zarówno w skali makro konfiguracji (wewnątrz niej połączenia występują między wszystkimi jej elementami), jak i mikro (połączenia między elementami układu scalonego), przy czym w kolejnych fazach rozwoju IT można wyróżniać następujące etapy: najpierw wzrost indywidualnych możliwości urządzeń, a następnie łączyć ich w sieci.

Tab. 5.6. Zmiana paradygmatu zarządzania systemami wytwórczymi [5.48]

Tradycyjne systemy produkcyjne	Inteligentne systemy produkcyjne
zarządzanie materialne	zarządzanie informatyczne
klasyczny determinizm	zdeterminowany chaos
hierarchiczność	relacyjność (obiektywność)
sztwywność decyzyjna, logika klasyczna	wielowariantowość, logika rozmyta
statyczna równowaga	dynamiczne dysproporcje
centralizacja	struktury rozproszone
funkcyjność	procesowość
ekspansywna konkurencyjność	partnerska współpraca
monolityczność, zamkniętość	otwartość, heterogeniczność, wirtualność
sekwencyjność, redukcjonizm	równoległość, systemowość
ograniczona samodzielność	autonomiczność
zależności lokalne	zależności globalne
wolne reakcje	reakcje on-line (real-time)
część jako fragment całości	całość (holon), fraktalność

3. **Mobilność** – zminiaturyzowane urządzenia w sieci w naturalny sposób stają się mobilne, zachowując swoją funkcjonalność. Wiąże się to także z rozwojem małych urządzeń elektronicznych wyposażonych w transpondery czyli mini urządzenia zdolne do wysyłania i odbioru sygnałów. Zaawansowane transpondery wyposażone są w pamięci, w szczególności w mikroprocesor, posiadają własną logikę sterowania. Mogą być zatem strukturalnie postrzegane jako prosty komputer i być pełnoprawnym składnikiem teleinformatycznych sieci stanowiących jedną z podstaw elastycznej infrastruktury produkcyjnej.
4. **Wirtualizacja** – mamy tu do czynienia ze zjawiskiem zastępowania materii informacją, co odbywa się na drodze wyizolowania w konfiguracji warstwy fizycznej i logicznej. W rozbudowanych systemach informatycznych wirtualizacja podnosi efektywność zarządzania heterogenicznym środowiskiem wieloserwerowym, co wymaga stosowania specjalnego oprogramowania dla żądanej abstrakcji zasobów. Możliwe jest również stosowanie maszyn wirtualnych, czyli oprogramowania instalowanego na platformie fizycznej w celu tworzenia określonego środowiska uruchomieniowego dla aplikacji. Z aplikacyjnego punktu widzenia w skali makro prowadzi to do przetwarzania chmurowego.

Z kolei w odniesieniu do metody zarządzania systemem IT przedsiębiorstwa (inteligentnego systemu produkcyjnego) przyjmuje się następujące założenia, co do jej cech:

1. **Wielowariantowość** – nawet w ramach założonej klasy systemów produkcyjnych (branża) istnieje wielka ilość rozwiązań, co do których nie ma jednoznacznej pewności o wyższości danego wariantu. Dla ich oceny można korzystać z modeli referencyjnych układu korporacyjnego [5.24].
2. **Heterogeniczność** – mimo kuszącej, z punktu widzenia „czystości organizacyjnej”, wizji tworzenia metody o jednolitej linii koncepcyjnej (np. konsekwentne stosowanie narzędzi obiektowych czy oprogramowania jednego dostawcy) zróżnicowanie procesów i elementów świata rzeczywistego wymusza każdorazowo ustępstwa na rzecz kompromisu między jednolitością metody (homogeniczność) a praktycznym zróżnicowaniem przemysłowego środowiska hardwarowo-sofwarowego.
3. **Otwartość** – dynamika współczesnych systemów produkcyjnych powoduje, że również konstruowany system nie może być statyczny. W tym kontekście zakładana otwartość umożliwia jego lepsze kontrolowanie i modularne modyfikowanie. Stosowane algorytmy (organizacyjne i skojarzone z nimi programowe) winny być jak najbardziej zbliżone do ideału „samouczących się”.
4. **Systemowość** – metoda organizacyjna kreująca i pielęgnująca system IT dla skojarzonego z nim systemu produkcyjnego winna także posiadać tę cechę – celowe łączenie w spójną całość sprawdzonych metod cząstkowych

tworzy nową jakość będącą czymś więcej niż tylko sumą rozwiązań składowych. W znacznej mierze cecha ta wynika z coraz bardziej interdyscyplinarnego paradygmatu komputerowego wspomagania zarządzania (operacyjnego).

Zmiany paradygmatu zarządzania systemami wytwórczymi (tab. 5.6) prowadzą do powstania ich nowej generacji – inteligentnych systemów produkcyjnych, charakteryzujących się nowym, otwartym typem inteligencji wytwórczej (tab. 5.7). Można powiedzieć, że organizacja podsystemu wytwórczego, magazynowego czy logistycznego w inteligentnym systemie produkcyjnym wymaga partnerskiej współpracy przedsiębiorstwa i jego otoczenia.

Tab. 5.7. Hierarchia biologiczna i bioniczna [49]

Cecha	Inteligentny system produkcyjny	System reaktywny
Przepływy materiałowo-informacyjne	Zasada odbioru (proces następny, determinuje poprzedni)	Zasada dostarczania („przepychanie” zleceń)
Planowanie produkcji	Autonomiczna i zgrubna na podstawie celów holonów, agentów czy fraktali	Zcentralizowana i szczegółowa, na podstawie stanu zasobów
Typ organizacji	Hierarchiczno-sieciowy, relacyjny	Hierarchiczny
Granice przedsiębiorstwa	Elastyczne, otwarte, np. generowanie zleceń (<i>customer replenishment</i>)	Sztywne, zamknięte (np. tradycyjne zlecenia klientów)
Forma przedsiębiorstwa	Całościowa struktura systemowa (wirtualność, sieciowość)	Prosta suma składowych
Ewolucja przedsiębiorstwa	Nieliniowa, adaptacyjna, bardziej elastyczna i otwarta	Liniowa, deterministyczna, mniej odporna na zakłócenia
Prognozowalność	Słabsza i mniej istotna (bezmagazynowa produkcja „na czas” – JiT, <i>Just in Time</i>)	Teoretycznie długofalowa, praktycznie nieodporna na zmiany

Na tym przykładzie widać wyraźnie jak sztywne dotąd granice między firmą a otoczeniem zewnętrznym ulegają zatarciu. W analogiczny sposób mogą być kształtowane relacje między przedsiębiorstwem a dostawcami surowców czy usług. W zależności od potrzeb możliwe jest np. włączenie dostawców do struktur przedsiębiorstwa bądź delegowanie zadań na zewnątrz (outsourcing). Istotne jest przy tym, aby dostawcy wewnętrzni i zewnętrzni mieli taki sam, partnerski status.

Podobnego traktowania wymagają również klienci: zanika tu tradycyjny podział na „ważnych” klientów zewnętrznych i „nieważnych” wewnętrznych. Zidentyfikowaną w sferze ISP metacechę otwartości można dostrzec także w jej komunikacyjnym i osobowym wymiarze. Nowoczesne przedsiębiorstwa umożliwiają swoim pracownikom korzystanie z firmowych portali społecznościowych czy otwartych repozytoriów zastępujących tradycyjne narzędzia pracy grupowej. Pracownicy, którzy prywatnie rozwijają swoją osobowość na specjalistycznych forach dyskusyjnych w Internecie czy blogosferze chętnie korzystają z podobnych technologii w firmie, aby w otwarty sposób dzielić się swoją fachową wiedzą z innymi pracownikami. Doświadczenia praktyki przemysłowej pokazują, że wiedzę nabywa się bardziej w jakościowych procesach zaangażowanych kontaktów społecznych, a mniej poprzez jej mechaniczne absorbowanie ilościowe.

LITERATURA:

- [5.1] Azuma R. T., A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments* Vol. 6, No. 4 (August 1997), 355–385.
- [5.2] Bach I., Muszyński W., Banaszak Z., Planowanie jednoczesnej, wieloasortymentowej produkcji jednostkowej. [w:] *Zarządzanie wiedzą i technologiami informatycznymi*, Red. Orłowski C., Kowalczyk Z., Szczerbicki E., PWNT Gdańsk 2008, 49–60.
- [5.3] Banaszak Z. A., Zaremba M.B., Project-driven planning and scheduling support for virtual manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.17, No 6, 2006, 641–651.
- [5.4] Banaszak Z., Bach I., Wójcik, Bocewicz G., Projektowanie dedykowanych systemów komputerowo wspomaganego harmonogramowania procesów dyskretnych. *Automatyka*, Tom 13, zeszyt 2. 2009, 169–181.
- [5.5] Banaszak Z., Bzdrya K., Saniuk S., *Systemy wspomaganie inżynierii zarządzania*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2005.
- [5.6] Banaszak Z., CP-based decision support for project-driven manufacturing. In: *Perspectives in Modern Project Scheduling*, (Józefowska J. and J. Węglarz (Eds.)), International Series in Operations Research and Management Science, Vol. 92, Springer, New York, 2006; 409–437.
- [5.7] Banaszak Z., Józefowska J. (red.), *Project-driven manufacturing*, WNT, Warszawa, 2003.
- [5.8] Banaszak Z., Kłos S., Mleczo J., *Zintegrowane systemy zarządzania*. PWE, Warszawa 2011.
- [5.9] Banaszak Z., Model referencyjny przedsiębiorstwa wirtualnego. W: *Przedsiębiorstwo w Procesie Globalizacji*, T. Krupa, Red., WNT, Warszawa, 2001, s.61–78.
- [5.10] Banaszak Z., Pisz I., Project-driven production flow management. In. *Project Driven Manufacturing*. Banaszak Z., J. Józefowska Eds, WNT, Warszawa, 2003, 53–71.

- [5.11] Banaszak Z., Strategie komputerowo zintegrowanego zarządzania przepływem produkcji. W: Polioptymalizacja i komputerowe wspomaganie projektowania. Red. W. Tarnowski, T.Kiczowski, WNT, Mielno 2002, s. 21–28.
- [5.12] Banaszak Z., Systemy informatyczne w zarządzaniu produkcją. W: Informatyka Gospodarcza, Pod red. J. Zawila-Niedźwiecki, K. Rostek, A. Gąsioriewicz, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa, 2010, 363–400.
- [5.13] Bengtsson J., Manufacturing Flexibility and Real Options – A Review, *International Journal of Production Economics*, Vol. 74, pp. 213–224.
- [5.14] Bi Z., Lang S., Shen W., Reconfigurable manufacturing systems: the state of the art, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 4, pp. 967–992.
- [5.15] Bocewicz G., Bach-Dąbrowska I., Banaszak Z. Deklaratywne projektowanie systemów komputerowego wspomaganie planowania przedsięwzięć. Akademska Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2009.
- [5.16] Bocewicz G., Banaszak Z., Bach I., Zastosowanie technik programowania z ograniczeniami do planowania zadań w środowiskach wieloprojektowych. *Pomiary Automatyka, Robotyka, PAR*, Warszawa, 2009, nr. 2, 152–164.
- [5.17] Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją, Wyd. Placet, Warszawa 2002.
- [5.18] Charczenko A., Świć A., Taranenko W.: Obrabiarki i urządzenia technologiczne w produkcji elastycznej. Lublin: Politechnika Lubelska, 2011, 301 s.
- [5.19] Gawlik J., Plichta J., Świć A. Procesy produkcyjne. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 316 s.
- [5.20] Gola A., Konczal W., RMS – system of the future or new trend in science?, *Advances in Science and Technology*, Vol. 7, No. 20, 2013, pp. 35–41.
- [5.21] Gola A., Świć A., Directions of Manufacturing Systems' Evolution from the Flexibility Level Point of View, [w:] R.Knosala (ed.) *Innovations in Management and Production Engineering*, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012, s. 226–238.
- [5.22] Gola A., Świć A., Kramar V., A multiple-criteria approach to machine-tool selection for focused flexibility manufacturing systems, *Management and Production Engineering Review* (2011), Vol. 2, No. 4, pp. 21–32.
- [5.23] Gola A., Świć A. Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. *Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки* 2013, 4(142), s. 312–318.
- [5.24] Guldentops E., Board Briefing on IT Governance, IT Governance Institute, Rolling Meadows, IL, USA, 2003.
- [5.25] Honczarenko J., Krzyżanowski J., Szwengier G., Modułowe zespoły w budowie, *Materiały Ogólnokrajowej Konferencji Obrabiarkowej KO'96*, Warszawa 1996.
- [5.26] Kawamura K.: Holonic Manufacturing System an overview and key technical issues. 4th IFAC Workshop on: Intelligent Manufacturing System IMS, Seul, 1997.
- [5.27] Kolski A.E., Mandiau R., Vergison E., Holonic User Driven Methodologies and Tools for Simulting Human Organizations; www.perso.wanadoo.fr
- [5.28] Koren I., Arbor A., Kota S. United States Patent, nr US 6 349 237 z dnia 19 lutego 2002.
- [5.29] Koren I., United States Patent, nr US 5 943 750, z dnia 31 sierpnia 1999.
- [5.30] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy A.G, Van Brussel H., Reconfigurable Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 1999, Vol. 48, No. 2, pp. 6–12.
- [5.31] Kosmol J., Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem, WNT, Warszawa 2000.
- [5.32] Kwapisz L., Majewski K., Przenośniki i podajniki obrabiarkowe, WNT, Warszawa 1986.
- [5.33] Lis S., Santarek K., Strzelczak S., Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1994.

- [5.34] Mazurek L., Świć A., Filipowicz O., Taranenko W.: Zwiększenie efektywności pracy obrabiarek wielozadaniowych w elastycznych systemach produkcyjnych. Politechnika Lubelska 2010, 144 s.
- [5.35] Mehrabi M., Ulsoy G., Koren Y., Reconfigurable manufacturing systems: Key to Future Manufacturing, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 11, No. 4, pp. 403–419.
- [5.36] Miecielica M., Techniki szybkiego prototypowania – rapid prototyping. *Przegląd Mechaniczny Rok wyd. LXIX _ Zeszyt 2/2010*, 39–45.
- [5.37] Oczó K.E., Obrabiarki rekonfigurowalne, *Mechanik*, nr 1/2008.
- [5.38] Perechuda K.: Zarządzanie przedsiębiorstwem przyszłości. Koncepcja, modele, metody. Warszawa: PLACET, 2000.
- [5.39] Ratajczak W.: Metodologiczne aspekty fraktalnego modelowania rzeczywistości. Poznań: Uniwersytet im. A. Mickiewicza, 1998.
- [5.40] Sawik T., Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych, WNT, Warszawa 1992.
- [5.41] Schwaninger M., *Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [5.42] Świć A., Gola A., Economic Analysis of Casing Parts Production in a Flexible Manufacturing System, *Actual Problems of Economics*, No. 3 (141) 2013, pp. 526–533.
- [5.43] Świć A., Gola A., Elements of Design of Production Systems – Methodology of Machine Tool Selection in Casing-Class FMS, *Management and Production Engineering Review (2010)*, Vol. 1, No. 2, pp. 73–81.
- [5.44] Świć A., Mazurek L.: Modeling the reliability and efficiency of flexible synchronous production line. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2011, 4 (52), s. 41–48.
- [5.45] Tolio T. (red.), *Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2009.
- [5.46] Tonshoff H. K., Winkler S. Ehrmann M.: *Holonic Manufacturing – the router to autonomous and cooperative manufacturing Systems*. 9th Symposium on Information Control In Manufacturing. Nancy-Metz: Metz University, 1998.
- [5.47] Zawadzka L., Badurek J., Perspektywy rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych nowej generacji [w:] Fertsh M., Grzybowska K., Stachowiak A. (red.), *Logistyka i zarządzanie produkcją – nowe wyzwania, odległe granice*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.
- [5.48] Zawadzka L., Badurek J., Integracja logistycznych systemów IT w praktyce przemysłowej, *Logistyka*, nr 2, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2009.
- [5.49] Zawadzka L., Badurek J., Łopatowska J., *Inteligentne systemy produkcyjne. Ewolucja i problemy organizacji projektów informatycznych*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.
- [5.50] Zawadzka L., *Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.