

Józef BRZĘCZEK
Politechnika Rzeszowska

ORGANIZACYJNE ASPEKTY PRZYGOTOWANIA I REALIZACJI PRODUKCJI MAŁOSERYJNEJ

Podstawowy problem organizacyjny w produkcji małoseryjnej stanowi cykliczne przygotowywanie handlowych i operatywnych programów produkcyjnych: uszeregowanie zadań (zleceń, partii produkcyjnych i jednostkowych wyrobów), przydzielenie odpowiednich stanowisk roboczych, dostępnych technologicznych, materiałowych i czasowych zasobów. Dodatkowo zwrócono uwagę na zjawisko produkcyjnego uczenia się i zapominania w odniesieniu do produkcji małoseryjnej oraz na problemy pracochłonności, kosztów jednostkowych, efektywności, jakości i szeregowania zadań produkcyjnych dla omawianego rodzaju produkcji.

Słowa kluczowe: produkcja małoseryjna, szeregowanie zadań, efektywność

Wstęp

W programach produkcyjnych przedsiębiorstwa o produkcji jednostkowej i małoseryjnej (zlecenia, zamówienia, partie produkcyjne) różnią się liczbą sztuk w partii, pracochłonnością, wymaganiami jakościowymi, kosztami i rentownością oraz istotnością (hierarchią). Pewna część przyjmowanych do realizacji zleceń wymaga analizy technicznej wykonalności, handlowej, jakościowej, rentowności oraz analizy z zakresu odpowiedzialności wykonawcy. Podstawowe problemy techniczne i organizacyjne przy takich uwarunkowaniach to: cykliczne budowanie programów handlowych i operatywnych oraz cykliczna analiza wykonalności, kosztów i rentowności. Pewien udział w programach produkcyjnych może stanowić produkcja realizowana w ramach długoterminowych umów z wytwórcą wyrobów finalnych. W praktyce takiej współpracy obserwowane jest zjawisko przenoszenia prawidłowości, wymagań organizacyjnych i jakościowych z produkcji seryjnej i masowej.

Artykuł stanowi próbę przybliżenia wybranych zagadnień przygotowania i realizacji programów operatywnych małych i średnich przedsiębiorstw, realizujących produkcję jednostkową i małoseryjną przy braku regularnych i stałych zamówień, oraz analizę możliwych i przyjmowanych rozwiązań w warunkach rzeczywistych.

Składanie ofert i przyjmowanie zleceń

Budowa programów operatywnych produkcji małoseryjnej odbywa się na podstawie przyjmowanych zamówień (program handlowy), ze zdefiniowanymi wymaganiami dotyczącymi materiałów (powierzone lub kupowane), terminami realizacji oraz wymaganiami jakościowymi. Składanie ofert jest przeprowadzane w możliwie najprostszy sposób, dający jednak racjonalnie dokładne i wiarygodne informacje. Przygotowanie produkcji powinno być prowadzone tym szczegółowiej, im dłuższa jest perspektywa współpracy i powtarzalności zamówień oraz ich rozmiar. Przy zamówieniach jednorazowych, o niezbyt dużej wartości w skali wartości programu operatywnego stosuje się wyceny bazujące na doświadczeniu technologa, bez głębszej analizy rentowności.

Różnorodność zamówień i brak ciągłości produkcji powodują konieczność posługiwania się metodami, narzędziami i wyposażeniem uniwersalnym, co jest zasadnym, ale zwykle nie najlepszym rozwiązaniem. Doposażenie w oprzyrządowanie specjalne znajduje uzasadnienie w dłuższej perspektywie współpracy lub w dodatkowym pokryciu kosztów przez zamawiającego.

Normowanie czasu pracy

Wycena pracochłonności i bilansowanie zasobów produkcyjnych prowadzone są na podstawie wyceny poszczególnych zleceń i operacji technologicznych. Normowanie czasu pracy jest prowadzone głównie na podstawie normatywów technologicznych, specyficznych dla określonego wydziału produkcyjnego i stanowisk roboczych. Planowane niezbędne zasoby (analizie poddano tylko pracochłonność) przyjętego programu operatywnego oraz wykorzystanie dysponowanych stanowisk roboczych dla całego programu operatywnego można przedstawić jako:

$$\mathfrak{S}_w = \sum_{j=1}^m J_j \quad (1)$$

gdzie: \mathfrak{S}_w – pracochłonność programu operatywnego,

J_j – pracochłonność poszczególnych zleceń,

m – liczba zleceń w programie operatywnym.

Niezbędny czas pracy do zrealizowania partii produkcyjnej (zlecenia) przy pewnych założeniach upraszczających można przedstawiać wzorem:

$$J_j = \frac{t_{pzj}^n}{n} + \sum_{n=1}^s \left((t_{gj}^n + t_{pj}^n) (1 + k_{nj}) \right) \quad (2)$$

gdzie: s – liczba sztuk wyrobu w partii produkcyjnej,
 j – liczba operacji technologicznych,
 t_{pzj}^n – czas przygotowawczo-zakończeniowy, może być zależny od (n),
 $t_{gj}^n = f(n)$ – czas główny,
 $t_{pj}^n = f(n)$ – czas pomocniczy,
 k_{uj} – specyficzny współczynnik dla rozpatrywanej operacji technologicznej.

Sumowanie wynika ze zmiany czasów głównych i pomocniczych w funkcji wykonywanych narastająco liczby części w partii produkcyjnej (nabywania i zapominania nawyków produkcyjnych). W praktyce stosowne są empiryczne współczynniki zależne od liczby sztuk w partii produkcyjnej, co umożliwia uśrednianie czasów.

Na etapie negocjowania cen przyjmowanych do realizacji usług lub wyrobów, zlecający powszechnie posługują się formułą obniżania kosztów poszczególnych partii produkcyjnych w funkcji kumulowanej wielkości produkcji oraz przenoszenia prawidłowości i wymagań organizacyjnych z produkcji seryjnej i masowej. W realizacji produkcji małoseryjnej, wykonywanej powtarzalnie w sposób nieregularny, istnieje ograniczona możliwość osiągnięcia normalnej wydajności produkcyjnej, stąd przenoszenie wymienionych prawidłowości niesie poważne konsekwencje zarówno w wymiarze organizacyjnym, jak i ekonomicznym. Zagadnienie jest trudne do dokładnego zdefiniowania i zastosowania, niemniej jednak zjawiska te powinny być, przynajmniej w przybliżonej postaci, uwzględniane. Jest to istotne, szczególnie przy dłuższych przerwach pomiędzy powtarzanymi zleceniami i relatywnie dużym udzialem operacji manualnych.

Krzywa doświadczenia, nazywana też krzywą przyzwyczajenia, jest zjawiskiem produkcyjnego uczenia się i utrwalania umiejętności w formie nabywanych nawyków produkcyjnych i zachowań, jest obserwowana przy narastającej liczbie wykonywania tych samych czynności (ilości skumulowanej), bez przerw w ich realizacji. W potocznym rozumieniu, zjawisko to charakteryzuje się spadkiem jednostkowego kosztu zmiennego poszczególnych zrealizowanych wyrobów lub operacji. Innym, prawie równorzędnym kryterium definiującym zjawisko produkcyjnego uczenia się jest spadek jednostkowego czasu pracy kolejnych sztuk w serii. W ramach tego zjawiska są obserwowane również inne prawidłowości, jak: ilościowy wzrost produkcji, spadek liczby wyrobów niezgodnych i wzrost współczynnika wykonania norm. W dostępnej literaturze z tego zakresu spadek jednostkowego czasu pracy jest oceniany na 10÷35% przy skumulowanym podwojeniu liczby sztuk, zależnie od rodzaju produkcji, warunków jej realizacji, udziału operacji manualnych itp. Zmiany opisane krzywymi doświadczenia wynikają z następujących przesłanek: skali produkcji, efektu wprawy, innowacyjności i substytucyjności czynników pracy oraz udziału czynności ma-

nualnych, przygotowania i doświadczenia pracownika [2]. Dla produkcji realizowanej w formie gniazd produkcyjnych, za potwierdzoną empirycznie formułę opisującą zjawisko produkcyjnego uczenia się przyjmuje się wzór Wrighta:

$$t_n = t_1 n^{-\alpha} \quad (3)$$

gdzie: t_n – pracochłonność jednostkowa n -tego wyrobu,

t_1 – pracochłonność jednostkowa pierwszego wyrobu,

α – empiryczny współczynnik regresji pracochłonności jednostkowej,

n – numer kolejnego wyrobu.

Zmiana kosztu jednostkowego może być opisywana formułą:

$$k_{zj} = k_1 n^{-\beta} \quad (4)$$

gdzie: k_{zj} – koszt jednostkowy n -tego wyrobu,

k_1 – koszt jednostkowy pierwszego wyrobu,

β – empiryczny współczynnik regresji kosztu jednostkowego.

Degresja kosztu jednostkowego następuje wolniej niż pracochłonność jednostkowa, co wynika z faktu, że pracochłonność jest jednym ze składników kosztu zmiennego. Wspomniane współczynniki są specyficzne dla wydziału produkcyjnego, rodzaju realizowanych operacji, stanowiska roboczego, jego uzbrojenia itp.

Problem zapominania nawyków produkcyjnych jest zjawiskiem złożonym zarówno ze względu na cykliczność, wielkość przerw czasowych pomiędzy uruchomieniami kolejnych partii produkcyjnych czy wielkość poszczególnych partii, jak i ze względu na przygotowanie oraz doświadczenie pracowników, uzbrojenie stanowiska roboczego i udział operacji manualnych. Charakter przebiegu zapominania umiejętności i nawyków produkcyjnych (inaczej charakter krzywej zanikania wprawy) ma przebieg zbliżony do krzywej zapominania H. Ebbinghausa. Formuła, opisująca przebieg krzywej zapominania nawyków (5), wymaga zebrania danych empirycznych, dotyczących operacji technologicznych. Może być opisana wzorem na wydłużenie czasu operacji technologicznej [3]:

$$\omega = \frac{100V}{(\log t)^\varepsilon + V} \quad (5)$$

gdzie: ω – odwrotność czasu trwania operacji,

ε , V – stałe doświadczalne,

t – czas od momentu zaprzestania produkcji i realizacji określonej operacji technologicznej.

Wymienione współczynniki są specyficzne dla wydziału produkcyjnego, rodzaju realizowanych operacji, stanowiska roboczego, jego uzbrojenia itp. Przy wdrożonych technologiach, dobrym oprzyrządowaniu i relatywnie niewielkim udziale stanowisk manualnych, w ocenie autora spadek pracochłonności z tytułu nabywania umiejętności może nie przekraczać kilku procent. Przy wysokim poziomie technologicznym wydziału i dobrym przygotowaniu fachowym pracowników rozmiary zjawiska zapominania nawyków produkcyjnych mogą być nieznaczne.

Ekonomiczna dokładność wykonania

Za ekonomiczną dokładność obróbki jest przyjmowane uzyskanie określonego poziomu jakościowego w normalnych warunkach produkcyjnych stanowiska roboczego. Zwiększenie wymagań jakościowych, jak i przyjmowanie robót o mniejszych dokładnościach wykonania będzie powodowało pogorszenie rentowności realizowanych zleceń. W pierwszym przypadku wynika to ze zwiększonego nakładu czasu pracy i zużycia innych zasobów oraz zwiększonego ryzyka wykonania wyrobu niezgodnego, w drugim z nieefektywnego wykorzystania stanowiska roboczego. W literaturze spotykane jest wyrażenie określające zmianę kosztu wytworzenia w funkcji dokładności wykonania (ściślej w funkcji tolerancji wykonania):

$$K = A + C \frac{B}{T} \quad (6)$$

gdzie: K – koszt realizacji partii produkcyjnej,

A – koszt postoju stanowiska roboczego (przy przyjętym poziomie obciążenia),

C – koszt roboczogodziny stanowiska roboczego,

B – tolerancja wykonania uzyskiwana przy normalnych warunkach produkcyjnych,

T – analizowana dokładność wykonania.

Przedstawiona interpretacja jest daleko idącym uproszczeniem, a sięga swoim rodowodem rozumowania przedstawionego w pracy [8]. W praktyce przebiegi są zbliżone co do charakteru, ale w większości przypadków mogą mieć przebieg dyskretny. Z drugiej strony istnieje pewna granica dokładności wykonania, poniżej której koszty wykonania nie będą dalej ulegać zmniejszeniu. Wymaganą tolerancję wykonania T można rozpatrywać w odniesieniu do: T_o – tolerancji, której zawężenie spowoduje niemożliwość wykonania, oraz T_m – tolerancji, powyżej której koszty operacji technologicznej nie będą już spadać. W praktyce produkcyjnej funkcjonuje pewna forma selekcji stanowisk z uwagi

na stan techniczny i możliwości techniczne, przygotowanie operatorów dostępności stanowiska. Zwykle najlepsze pod względem technicznym stanowiska robocze są obsługiwane przez najwyższej wykwalifikowanych pracowników, stąd też będą bardziej kosztowne. O wyborze stanowiska roboczego będzie decydować koszt wykonania partii produkcyjnej, a nie pojedynczej sztuki.

Przykładową analizę kosztów przeprowadzono dla operacji wykonywanych na partii 100 sztuk. Analiza kosztów dla różnych stanowisk roboczych została przeprowadzona zgodnie z wzorem (6). Koszt wykonania partii produkcyjnej (rys. 1.) dla określonego stanowiska roboczego, dla normalnych warunków produkcyjnych określono wzorem (2), a analizę przeprowadzono dla danych zawartych tabelach 1. i 2. Zmianę kosztu wykonania partii produkcyjnej w funkcji dokładności określono ze wzoru (6). Przedstawiona analiza kosztów nie zawiera zagadnień związanych z możliwością wykonania części niezgodnych, co może istotnie modyfikować przedstawione wyniki. Z analizy zmiany kosztów w funkcji wymaganej dokładności na dysponowanych stanowiskach roboczych wynika, że od pewnego zakresu dokładności koszty wykonania są porównywalne.

Tabela 1. Parametry czasowo-kosztowe analizowanych stanowisk roboczych

Table 1. Time-cost parameters of analyzed work-place

| Nazwa stanowiska | Oznaczenie stanowiska | Czas t_{pz} [rbg*] | Czas t_j [rbg] | Średni koszt [PLN/rbg] |
|------------------|-----------------------|----------------------|------------------|------------------------|
| Niedokładne | A | 2 | 4 | 31 |
| Średnio dokładne | B | 3 | 2 | 60 |
| Dokładne | C | 5 | 1 | 96 |

* roboczogodzina

Tab. 2. Parametry jakościowo-kosztowe analizowanych stanowisk roboczych

Table 2. Quality-cost parameters of analyzed work-place

| Nazwa stanowiska | Oznaczenie | Normalne dokładności [mm] | Płaca [PLN/rbg*] | Koszt postoju godzinowego [PLN] | Koszt oprzyrządowania [PLN] |
|------------------|------------|---------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Niedokładne | A | 0,4 | 16 | 5 | 10 |
| Średnio dokładne | B | 0,15 | 19 | 15 | 31 |
| Dokładne | C | 0,08 | 21 | 30 | 45 |

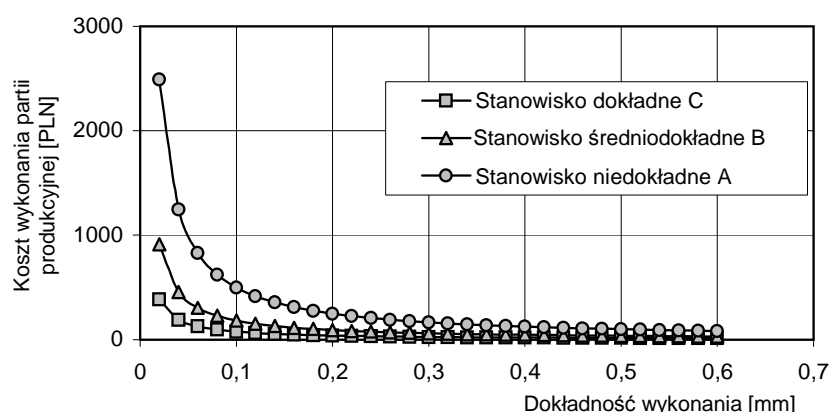
* roboczogodzina

Wymagania jakościowe wykonania i odbioru

Powszechnie przyjmowany jest pogląd, że elementem warunkującym dobór narzędzi i metod pomiarowych jest minimum kosztów wynikające z dokładności wykonania i optymalnej niepewności pomiaru. Tradycyjny podział błędnych

decyzji przy orzekaniu o zgodności charakterystyk to [1]: błędy I rodzaju – dyskwalifikujące wyrób dobry (charakteryzujące ryzyko dostawcy), i II rodzaju – orzekające o zgodności dla wyrobu niezgodnego (charakteryzujące ryzyko odbiorcy), w praktyce mają one charakter teoretyczny z uwagi na zobowiązanie wykonawcy do wykonania wyrobu zgodnego. W niektórych przypadkach koszty błędów i niewykrytych wad są trudne do wyceny, a koszty ewentualnych następstw wręcz niemożliwe do ubezpieczenia z powodu nie do końca przewidywalnych skutków następstw (np. produkcja lotnicza). Stosowane są dwa sposoby wymiarowania (specyfikacji) wyrobów [4]:

- wymiarowanie „tradycyjne” – specyfikacja przez wymiar,
- wymiarowanie GPS – specyfikacja przez pole tolerancji.



Rys. 1. Koszty wykonania partii produkcyjnej w funkcji dokładności

Fig. 1. Curve of the experiment for the simple manual operations

W przypadku specyfikacji przez pole tolerancji mogą pojawić się problemy zarówno w zakresie interpretacji, jak i doboru technik pomiarowych. Częstość zjawiskiem w takich przypadkach jest „ucieczka” w pomiar maszynami pomiarowymi lub stosowanie sprawdzianów. Zastosowanie sprawdzianów, jakkolwiek wygodnych w użyciu i dających 100% pewności wykonania wyrobu zgodnego, nie daje jednak bieżących informacji o niezbędnych korektach parametrów technologicznych, przy relatywnie wysokich kosztach ich wykonania i nadzorowania. Dla obu przypadków zapisu konstrukcji dobrą praktyką jest uzgodnienie z zamawiającym wszystkich szczegółów wykonania i odbioru produkowanych części, a w tym:

- określenie charakterystyk pierwszorzędowych, krytycznych, wymagających zwykle 100% kontroli,
- określenie charakterystyk ważnych, kluczowych z możliwością zdefiniowania ich odbioru,

- określenie charakterystyk pozostałych (drugorzędowych) – odbiór jakościowy według ocenionego ryzyka wykonania wyrobu niezgodnego,

W przypadku braku maszyny pomiarowej albo zasadności zastosowania sprawdzianów, występuje konieczność zastosowania metod pośrednich. Charakterystyki mierzone tymi metodami są obarczone dodatkowymi błędami wynikającymi z rozkładu zmienności poszczególnych wielkości składowych, co powoduje wzrost niepewności pomiaru. Trudne do wyceny i zdefiniowania są wymagania kontroli wzrokowej i tzw. odbioru „handlowego”. Te elementy powinny być jednoznacznie zdefiniowane podczas składaniu ofert, a najpóźniej przy odbiorze pierwszej sztuki. Pewnym zabezpieczeniem wykonawcy w zakresie odpowiedzialności może być uzgadnianie z zamawiającym całości procesów technologicznych realizowanego zamówienia, metod odbioru jakościowego i zdefiniowanie ilości procentowej części niezgodnych. Niezbędne jest uzgodnienie zasad postępowania oraz ponoszenia kosztów w wypadku części niezgodnych. Niemierzalnym elementem, jaki powinien być brany pod uwagę, jest doświadczenie przedsiębiorstwa z zakresu realizowanego zamówienia, wymaganych dokładności i praktyka produkcyjna w dziedzinie, z której pochodzi zamówienie.

Przygotowanie i realizacja operatywnego programu produkcyjnego

Przygotowywanie programów operatywnych opiera się na bilansowaniu zasobów oraz oczekiwanych wyników produkcyjnych. O wartości kosztu roboczo-godziny realizowanego programu operatywnego będzie decydować maksymalizacja wykorzystania dysponowanych zasobów*. Z kolei kryterium maksymalizacji wykorzystania zasobów produkcyjnych może prowadzić do konieczności przesunięcia terminów zakończenia wykonania niektórych zleceń programu operatywnego [5]. Przy opóźnieniach są zwykle nakładane kary umowne przez zlecającego, a wcześniejsza realizacja określonych zleceń jest związana z wcześniejszym zaangażowaniem odpowiednich zasobów itp. Program produkcyjny można przedstawić wzorem:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}J_1 + a_{12}J_2 + \dots + a_{1j}J_j &\leq U_1 \\ a_{21}J_1 + a_{22}J_2 + \dots + a_{2j}J_j &\leq U_2 \\ a_{i1}J_1 + a_{i2}J_2 + \dots + a_{ij}J_j &\leq U_i \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

gdzie: a_{ji} – techniczne współczynniki produkcji (określają ilość zasobu U_i niezbędnego do wykonania wyrobu j -zlecenia), np. prędkość, np. pracochłonność,

* Wzory (7) i (8) powinny uwzględniać koszty zabezpieczenia w zasoby, zwykle większe od niezbędnych, oraz wcześniejsze terminy zamawiania, warunki handlowe itp.

J_j – kolejne zlecenia programu produkcyjnego (wyroby), $j = 1, \dots, m$,
 U_i – zasoby $i = 1, \dots, n$ (dostępna energia, stanowiska robocze, materiał itp.).

Poziom obciążenia całego programu operacyjnego jest wyznaczany z zależności:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{j=1}^m a_{ij} J_j} \quad (8)$$

Wstępna analiza przygotowywanego programu operatywnego ma na celu zbilansowanie dysponowanych zasobów z zasobami niezbędnymi, przy założeniu realizacji (maksymalnego) programu operatywnego:

$$\mathfrak{S}_{\max} = \sum_{j=1}^m J_j \quad (9)$$

Poziom wykorzystania poszczególnych zasobów U_i określa poziom obciążenia dysponowanych stanowisk roboczych, wyrażony wzorem:

$$\eta_i = \frac{a_{i1} J_1 + a_{i2} J_2 + \dots + a_{ij} J_j}{U_i} \quad (10)$$

Przy pewnym doświadczeniu zarządzających, poziom obciążenia poszczególnych dysponowanych stanowisk roboczych η_i i całego programu operatywnego η może być pierwszym sygnałem o możliwości terminowej realizacji programu. Współczynniki η_i lub η można przyjmować do prognozowania kosztów wydziałowych i kosztów na stanowiskach roboczych. Poziom obciążenia (planowanego) stanowisk roboczych może być zastąpiony znanym z teorii szeregowania kryterium minimalizacji długości uszeregowania $C_{z\max}^*$ [7]. Dlatego analiza terminowej realizacji programu operatywnego może być rozpatrywana z innego punktu widzenia, czyli przedstawienia realizacji programu w funkcji jego długości „czasowej” [6]:

$$\mathfrak{S}_{\max}^c \leq \eta^c \lambda \quad (11)$$

* Nie przeprowadzono analizy równoważności kryteriów dla gniazdowej organizacji produkcji.

$$\lambda \geq \frac{\mathfrak{I}_{\max}^c}{\eta^c} \quad (12)$$

gdzie: η^c – współczynnik z przedziału $(0 \div 1)$, zapewniający pewien zapas czasu (zasobu),

λ – „długość” czasowa (rzeczywista) realizacji programu operatywnego, wynikająca z poziomu napełnienia robót (wykorzystania stanowisk roboczych),

\mathfrak{I}_{\max}^c – teoretyczna „długość” czasowa realizacji programu operatywnego.

Rzeczywiste wahania wartości długości uszeregowania C_{\max} stwarzają ryzyko wykonania programu produkcyjnego z opóźnieniem L wynikającym z różnicy długości planowanego uszeregowania C_{\max} i rzeczywistej długości programu operatywnego λ . Za terminowe wykonanie planu operatywnego przyjmuje się terminowe zrealizowanie wszystkich zleceń.

$$L = \lambda - C_{\max} \quad (13)$$

gdzie: L – opóźnienie w realizacji programu operatywnego,

C_{\max} – długość planowanego uszeregowania.

Maksymalizacja wykorzystania zasobów U_i programu operatywnego (9) będzie zwiększała ryzyko opóźnień w realizacji niektórych lub wszystkich zleceń programu operatywnego. Przyjmowanie poziomu wykorzystania dysponowanych zasobów η i η^c , nawet na bazie wieloletnich doświadczeń, nie daje pewności terminowej realizacji programu operatywnego. Spotykane w praktyce produkcyjnej tego typu przedsiębiorstw, współczynniki η wahają się w granicach $0,6 \div 0,8$. Wyższe lub niższe (specyficzne dla wydziału) wartości mogą świadczyć o niewłaściwym organizowaniu produkcji, braku właściwej dyscypliny pracy lub braku rzeczywistego napełnienia robót. Z terminową realizacją przyjętych zleceń produkcyjnych jest związana koncepcja „Just in time” realizacji zamówionych wyrobów. Od strony organizacyjnej, koncepcja ta dąży do minimalizacji sumarycznych kosztów realizacji programów [5]. Wcześniejsza realizacja zlecenia J_j może być opisywana zmianami kosztów w postaci funkcji niemalejącej:

$$F_j^1 = f_{j1}(p_j - C_j) \quad (14)$$

gdzie: F_j^1 – koszt wcześniejszego wykonania zamówienia,

f_{j1} – funkcja kosztu z tytułu wcześniejszego wykonania,

p_j – wcześniejszy termin wykonania,

C_j – uzgodniony termin wykonania zlecenia.

Opóźnienie terminu wykonania określonego zlecenia może być opisane podobnie, ogólnie w postaci funkcji rosnącej F_j^2 . Optymalny kosztowo termin wykonania określonego zlecenia J_j można przedstawić wzorem:

$$F_{j\min} = (F_j^1 + F_j^2)_{\min} \quad (15)$$

Optymalna pod względem kosztowym realizacja operatywnego programu produkcyjnego w rozpatrywanym okresie rozliczeniowym dla tak sformułowanych warunków zajdzie dla takiego uszeregowania zleceń produkcyjnych Φ_{\min} , które będzie minimalizowało koszty jego wykonania:

$$\Phi_{\min} = \left(\sum_{j=1}^m (F_j^1 + F_j^2) \right)_{\min} \quad (16)$$

Prowadzenie optymalizacji wymaga jednak odpowiedniego przygotowania i rozliczenia produkcji. Do tego typu analiz jest wymagany zintegrowany komputerowy system przygotowania i rozliczenia realizacji produkcji ze wspomnianymi wcześniej bazami danych technologicznych. Z uwagi na praktyczne aspekty zarządzania produkcją, system powinien umożliwiać bieżącą kontrolę realizacji zleceń („on line”). Jest to istotne z uwagi na korekty zaburzeń losowych lub wprowadzanie zmian wymuszonych innymi okolicznościami.

Uwagi końcowe

Przygotowanie i realizacja produkcji małoseryjnej wymagają większego zaangażowania służb technicznych, produkcyjnych i jakościowych, a różnorodność rozwiązywanych zagadnień technicznych i technologicznych wymaga wszechstronnego przygotowania załogi zarówno bezpośredniej produkcji, jak i służb jakościowych i technicznych. Omówiona problematyka wskazuje, że produkcja jednostkowa i małoseryjna, mimo dostępnych coraz lepszych obrabiarzek i stanowisk roboczych oraz coraz większych możliwości kontroli procesów technologicznych, będzie trudniejsza i bardziej czasochłonna (jednostkowo) niż produkcja wielkoseryjna lub masowa. Praktyka wskazuje również, że poddostawcy, realizujący tego rodzaju produkcję, stanowią dodatkowo rodzaj bufora niwelującego wahania zapotrzebowania u zamawiającego. Zwiększone zużycie zasobów wynika z ograniczonej powtarzalności i rozmiarów produkcji. Otwartym zagadnieniem pozostaje szczegółowość przygotowania produkcji i analizy kosztów. Również dyskusyjne pozostaje zagadnienie szczegółowości analizy operatywnych programów produkcyjnych, z uwagi na zaburzenia organizacyjne i losowe. Konieczność wszechstronnego i uniwersalnego przygotowania załogi

niesie zwiększone koszty, ale daje możliwość relatywnie szybkiej zmiany profilu produkcji na wypadek zaburzeń rynkowych.

Literatura

- [1] Arendarski J.: Niepewność pomiarów, OW PW, Warszawa 2003.
- [2] Brzeziński M.: Podstawy metodyczne projektowania rozruchu nowej produkcji, PWN, Warszawa 1996.
- [3] Brzeziński M.: Z badań nad zjawiskiem zapominania nawyków roboczych, Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej, 148, Lublin 1997.
- [4] Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych, WNT, Warszawa 2006.
- [5] Janiak A.: Wybrane problemy algorytmu szeregowania zadań i rozdziału zasobów, AOW PLJ, Warszawa 1999.
- [6] Kaczmarczyk W.: Nowe kryterium oceny stopnia wykorzystania maszyn dla zadań szeregowania produkcji, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Automatyka, z. 129, Gliwice 2000.
- [7] Smutnicki C.: Algorytmy szeregowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
- [8] Szadkowski J.: Ekonomiczne i technologiczne przesłanki wyboru tolerancji w układach łańcuchów wymiarowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, nr 4, Kraków 1969.

Organizational aspects of preparation and realization of small lot production

The basic organizational problem of low-volume production consists in a cyclic preparation of commercial and operative production programs, ranking of tasks (purchase orders, batches of individual products), assignation of appropriate production stands, available time reserves as well as processing and material resource. Additionally author paid attention to the problem of learning and forgetting curve phenomena for this kind of production. The paper presents some remarks regarding the calculation of labour consumption, unit cost, operating efficiency and scheduling of processing tasks problems for discussed production as well.

Keywords: low-volume production, ranking of tasks, efficiency

Złożono w Redakcji w listopadzie 2009 r.