ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984
Seria: AUTOMATYKA z. 75 Nr kol. 811

Jan Kałuski
Politechnika Śląska

OCENA HARMONOGRAMÓW ZE WZGLĘDU NA KRYTERIUM NIEZAWODNOŚCI

Streszczenie. W pracy rozpatrzono problemy niezawodnościowe oceny harmonogramów do sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi. Przyjęto, że harmonogram wraz z urządzeniami realizującymi go, może być rozpatrywany jako pewien system cyfrowy. Zbudowano model niezawodnościowy systemu harmonogramowania. Model ten pozwala na wyznaczenie strat wynikających z wadliwości samego harmonogramu oraz urządzeń systemów wykonawczych.

1. Wstęp

Warunkiem efektywnego stosowania harmonogramów do sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi /dpp/ jest duża niezawodność ich działania. Przez niezawodność harmonogramu będziemy rozumieli jego zdolność do wykonywania określonego zespołu funkcji sterowania dpp. Miarą tak zdefiniowanej niezawodności może być prawdopodobieństwo spełnienia postawionego harmonogramowi zadania.

Obecnie przy sporządzaniu harmonogramów nie uwzględnia się kryterium niezawodnościowego. W rezultacie mamy do czynienia ze zjawiskiem, które nosi nazwę załamania się harmonogramu. Przy konstruowaniu harmonogramu uwzględnia się jedynie zdeterminowane warunki pracy i ograniczenia, wynikające z wyidealizowanego modelu procesu produkcyjnego oraz określoną, zdeterminowaną funkcję celu działalności produkcyjnej.

Na przykład ustala się następujące dane:

1/ normatywne czasy wykonywania operacji technologicznych na poszczególnych agregatach;
2/ ilościowy plan produkcji danego asortymentu wyrobów na okres, np. 1 roku;
3/ wydajności poszczególnych agregatów w zależności od wykonywanych wyrobów i operacji;
4/ koszty jednostkowe i sumaryczne wykonania produkcji itp.

Funkcja celu działalności produkcyjnej może być w tym przypadku sformułowana w następującej postaci:

1/ zminimalizować czasy przestojów agregatów;
2/ zmaksymalizować uzyski danego asortymentu wyrobów;
3/ zminimalizować koszty produkcji;
4/ zapewnić odpowiedni zapas półwyrobów /w szczególności, jeżeli te półwyroby mogą być niezależnie sprzedawane w zaplanowanych ilościach i okresach działalności/ itp.

Biorąc pod uwagę warunki ograniczające i cel działalności produkcyjnej, wykorzystując odpowiednie metody programowania matematycznego, buduje się optymalny lub heurystyczny harmonogram, który podaje szczegółową instrukcję postępowania przy realizacji dpp. Harmonogram optymalny teoretycznie zapewnia osiągnięcie wytyczonego celu działalności produkcyjnej. W praktyce, tak skonstruowany harmonogram niejednokrotnie ulega załamaniu, a w większości przypadków wymaga bieżących korekt.

Praktyka pokazuje, że harmonogramy przeznaczone dla krótkich horyzontów sterowania - harmonogramy zmianowe, tygodniowe a nawet miesięczne - są bardziej niezawodne, niż harmonogramy długookresowe z horyzontem kwartalnym, półrocznym i rocznym. Wynika stąd, że im krótszy jest horyzont harmonogramowania, tym pewniej możemy określić warunki działalności produkcyjnej. Pewność ta maleje wraz z wydłużeniem się okresu harmonogramowania. Powodem takiego stanu rzeczy jest niedostateczna, a czasem wręcz niemożliwa pełna identyfikacja procesu produkcyjnego jak i brak możliwości zbudowania odpowiednio dokładnego modelu matematycznego, uwzględniającego wszystkie istotne uwarunkowania i ograniczenia. Przyjmuje się zatem zdeterminowane warunki działalności produkcyjnej, nie uwzględniając losowego charakteru niektórych zakłóceń.

Zauważmy również, że na niezawodność harmonogramu również ma wpływ sposób jego generowania przez komputer oraz niezawodność i dokładność samego komputera.

Podsumowując należy stwierdzić, że niezawodność harmonogramu jest uwarunkowana wieloma niezdeterminowanymi czynnikami. Uwzględnienie ich w ograniczeniach lub w innej postaci jest konieczne w celu poprawienia efektywności stosowania harmonogramu.

2. Koncepcja kryterium niezawodnościowego harmonogramu. Ocena efektywności harmonogramu

Problemy budowy niezawodnych systemów harmonogramowania mają wiele wspólnego z podobnymi problemami spotykanymi przy budowie złożonych systemów. Systemy harmonogramowania służące do sterowania dpp można porównać do złożonych systemów cyfrowych. Funkcjonowanie systemów cyfrowych w zamkniętym obwodzie automatycznego sterowania charakteryzuje się kilkoma istotnymi właściwościami: kwantowaniem po czasie i po realizacjach. Dokładność realizacji algorytmów zależy od liczby urządzeń, zaś ich liczba decyduje o niezawodności algorytmów.

Można więc przyjąć, że harmonogram wraz z urządzeniami realizującymi go jest pewnym systemem cyfrowym.

Przyjmując taki pogląd, w oparciu o pracę [3], rozpatrzono problemy niezawodnościowe oceny harmonogramów, służące do sterowania dpp. W tym celu wydaje się słuszne, aby miarą oceny działalności harmonogramu była jego efektywność. Przy ocenie efektywności harmonogramu jako złożonego systemu cyfrowego, będziemy wykorzystywali rzeczywisty model funkcjonowania harmonogramu z uwzględnieniem malejącej efektywności wskutek zawodności elementów systemu harmonogramowania.

Efektywność zdefiniujemy jako wartość oczekiwaną wyjściowego efektu harmonogramowania Φ_H

$$\mathcal{E} = E\,(\Phi_H) \qquad /1/$$

Za efekt harmonogramowania Φ_H można przyjąć na przykład zysk otrzymany w określonym czasie przy stosowaniu harmonogramu, w porównaniu z przebiegiem sterowania dpp bez harmonogramu /bez określonego z góry zadanego algorytmu sterowania/. Wykorzystamy dalej założenie, że obniżenie efektywności harmonogramu przy uszkodzeniach i-tych jego elementów funkcjonalnych i wykonanie j-tego zadania sterowania przez harmonogram jest addytywne. Wówczas efekt wyjściowy Φ_H harmonogramowania jako złożonego systemu można zapisać następująco:

$$\Phi_H = \sum_{j=1}^{J} Q_{H_j}\cdot t - [K(\lambda) + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} w_{ij}(\lambda, t)] \qquad /2/$$

gdzie: Q_{H_j} - wydajność systemu harmonogramowania uwarunkowana jego j-tą funkcją sterowania, $K(\lambda)$ - koszt systemu harmonogramowania zależny od jakości urządzeń składowych realizujących harmonogram, a więc od λ - intensywności uszkodzeń, $w_{ij}(\lambda, t)$ - suma strat, związana z eksploatacją harmonogramu i stratami wskutek uszkodzenia i-tego elementu funkcjonalnego systemu harmonogramowania przy wykonywaniu j-tej funkcji sterowania.

Podczas budowy harmonogramu dysponujemy jedynie przybliżonymi wartościami różnych wskaźników kosztów i wskaźników niezawodnościowych działania poszczególnych i-tych elementów funkcjonalnych systemu harmonogramowania. W ogólnym przypadku są to wielkości losowe. Stąd konieczność uśrednienia efektu wyjściowego harmonogramu. Otrzymamy więc

$$\mathcal{E} = \sum_{j=1}^{J} Q_{H_j}\cdot t - [\bar{K}(\lambda) + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} \bar{w}_{ij}(\lambda, t)] \qquad /3/$$

Zrozumiałe jest, że przy stałych wydajnościach systemu sterowania $\sum Q_{H_j}$, optymalnym wariantem struktury harmonogramowania będzie taki wariant, który zminimalizuje sumę w nawiasie kwadratowym /3/.

$$\bar{K}(\lambda) + \sum_{j}\sum_{i} \bar{w}_{ij}(\lambda, t) \longrightarrow \min \qquad /4/$$

Harmonogram zwykle jest generowany i może być realizowany za pomocą komputera /np. sterowanie bezpośrednie obrabiarkami/. Należałoby więc w tym miejscu uwzględnić wydajność Q_K samego komputera. W ten sposób minimalizować należałoby straty

$$\frac{\bar{K}(\lambda) + \sum_{j}\sum_{i} \bar{w}_{ij}(\lambda, t)}{Q_K} \longrightarrow \min \qquad /5/$$

3. Obliczenie strat

Rozważmy obecnie straty $w(\lambda, t)$. W ogólnym przypadku straty te będą zawierać:

a/ $S_R(t)$ - straty związane z ponownym uruchomieniem zatrzymanego harmonogramu. Mogą tu wchodzić straty wskutek remontu komputera lub innego urządzenia realizującego harmonogram,

b/ $S_p(t)$ - straty wynikające z przestojów urządzeń podczas remontów,

c/ S_z - koszty zapasowych wariantów harmonogramowania,

d/ $S_o(t)$ - straty związane z przestojem procesu produkcyjnego wskutek załamania się harmonogramu.

Straty S_z nie wchodzą w całości do $w(\lambda, t)$, lecz z pewną wagą β. Chodzi tu o to, że wprowadzając zapasowy wariant harmonogramowania na pewnym odcinku sterowania, nie kompensujemy w całości tych strat, lecz tylko pewną ich część.

Można więc napisać, że

$$w(\lambda, t) = S_R(t) + S_p(t) + S_o(t) + \beta \cdot S_z \qquad /6/$$

Jak widać, zasadniczą sprawą przy ocenie efektywności ε działania danego wariantu harmonogramu jest możliwość i sposób wyznaczania strat związanych z uszkodzeniami elementów funkcjonalnych systemu harmonogramowania. Najłatwiej byłoby otrzymać je wprost z przedsiębiorstwa. Nie zawsze jednak ono je posiada. Należy się liczyć z tym, że będą to przypadki sporadyczne. A więc dla oceny efektywności systemu harmonogramowania bezpośrednie wykorzystywanie zależności /3/ - /6/ jest utrudnione, a czasami wręcz niemożliwe.

Niżej podamy sposób jak można uniknąć tych trudności. Zanim jednak przejdziemy do tego problemu i naszkicujemy ewentualne metody postępowania, zatrzymajmy się przy zdarzeniu, o którym już wspominaliśmy, a które nosi nazwę załamania się harmonogramu. Jak wiemy, po tym zdarzeniu następuje wyłączenie harmonogramu ze sterowania. Fakt ten sugeruje, że system harmonogramowania jako niezawodnościowy system wielofunkcjonalny powinien być traktowany jako system niezawodnościowy nienaprawialny, gdyż pierwsze załamanie się harmonogramu powoduje jego wyeliminowanie ze sterowania. Tak w istocie jest w praktyce. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby na etapie budowy harmonogramu traktować go jako system niezawodnościowy naprawialny

/odnawialny/. Podejście takie umożliwi wyznaczenie strat ze sterowania w przyszłości danym harmonogramem i pozwoli na przeanalizowanie jego przydatności pod względem niezawodnościowym.

Przejdźmy zatem do oszacowania nie wprost strat $w(\lambda, t)$ przyjmując jednak założenie, że harmonogram jest wielofunkcyjnym systemem cyfrowym odnawialnym niezawodnościowo.

W celu przeanalizowania nieprawidłowości w działaniu harmonogramu /"uszkodzenia" harmonogramu/ i ich oddziaływania na sterowany proces produkcyjny, można wykorzystać znaną metodę zastępczych oddziaływań [3]. Sens metody w danym przypadku polega na tym, że nieprawidłowościom działania harmonogramu, zgodnie z określonym algorytmem postępowania, przypisuje się ekwiwalentne zakłócenia oddziaływujące bezpośrednio na proces produkcyjny. Tak więc, jeżeli jakiś i-ty element harmonogramu doznał uszkodzenia, to jest to jednoznaczne, zgodnie z powyższą metodą, że na proces produkcyjny oddziaływuje pewne zakłócenie ekwiwaletne w skutkach uszkodzeniu się tego /i-tego/ fragmentu harmonogramu. Dla ułatwienia postępowania przyjmujemy założenie, że straty $s(t)$ są liniowo zależne od czasu odnowienia harmonogramu tzn.

$$s(t) = a\tau + b \qquad /7/$$

gdzie: a i b - stałe współczynniki.

Zakładamy również, że istnieje pewien system kontroli poprawnego funkcjonowania harmonogramu, co pozwoli na znaczne zmniejszenie czasu τ potrzebnego na odnowę. Będą jednak zdarzały się przypadki nie wykrycia przez kontrolę usterek w funkcjonowaniu harmonogramu, które z czasem będą się kumulowały i w efekcie doprowadzą do załamania się harmonogramu /jego uszkodzenia/. W tym przypadku zakładamy, że funkcja strat będzie miała postać

$$s^*(t) = (a^* . \tau + b^*) + S_u \qquad /8/$$

gdzie: S_u - straty spowodowane procesem przejściowym przy usuwaniu usterek w funkcjonowaniu harmonogramu.

Niech $\nu(t)$ oznacza losową liczbę usterek /uszkodzeń/ systemu harmonogramowania w czasie t, wykrytych przez kontrolę i usuniętych we właściwym czasie w taki sposób, że harmonogram dalej pozwala na sterowanie dpp. Wartość oczekiwana $E[\nu(t)]$ jest jak wiadomo, funkcją odnowienia. Oznaczmy ją przez $Z(t)$. Niech dalej $\nu^*(t)$ oraz $Z^*(t)$ oznacza losową liczbę uszkodzeń systemu, nie wykrytych przez kontrolę i odpowiadającą jej funkcję odnowienia. Strumień usterek nie wykrytych będzie o wiele rzadszy niż strumień usterek wykrywalnych /prawa rządzące strumieniami rozrzedzonymi można znaleźć, np. w [4]/. Wówczas straty w czasie t można zapisać następującym wzorem:

$$w(\lambda,t) = \sum_{j,i=1}^{J,I} \nu_i(t) \cdot s_{ij}(\tau) + \sum_{j,i=1}^{J,I} \nu_i^*(t) \cdot s_{ij}^*(\tau) \qquad /9/$$

zaś średnie straty wyrażają się zależnością

$$\bar{w}(\lambda,t) = \sum_{j,i=1}^{J,I} z_i(t) \cdot \bar{s}_{ij} + \sum_{j,i=1}^{J,I} z_i^*(t)\, \bar{s}_{ij}^* \qquad /10/$$

Czas odnowienia τ może być zmniejszony, tzn. $\tau_k < \tau$ - dla k-tej kontroli działania systemu harmonogramowania, w którym zawczasu wykrywamy uszkodzenie.

W celu zilustrowania podanej metody wyznaczania strat założmy, że strumień uszkodzeń jest poissonowski o wartości oczekiwanej $\frac{1}{\lambda \cdot t}$ oraz wariancji $\frac{1}{\lambda^2 \cdot t^2}$. Również dystrybuanta czasu odnowy po uszkodzeniu ma charakter wykładniczy o wartości oczekiwanej $\frac{1}{\mu \cdot t}$ i wariancji $\frac{1}{\mu^2 \cdot t^2}$. Wówczas funkcjonowanie danego systemu harmonogramowania można opisać procesem Markowa z dochodami [2]. Za "dochód" należałoby w tym przypadku przyjąć straty spowodowane zmniejszaniem się efektywności harmonogramu wskutek zawodności jego elementów. Liczbę "wpadnięć" procesu Markowa w stan uszkodzenia znajdziemy z następujących zależności [1]

$$Z(t) = \int_0^t \left[1 + Z_o(t-x)\right] dF(x) \qquad /11/$$

oraz

$$Z_o(t) = \int_0^t Z(t-x)\, dG(x) \qquad /12/$$

gdzie: F(t) i G(t)-odpowiednio dystrybuanty rozkładów czasu pracy i czasu odnowy.

Powyższe równania całkowe Volterry II rodzaju rozwiązuje się za pomocą przekształcenia Laplace'a - Carsona lub Laplace'a - Stieltjesa /jeżeli odnośne przekształcenie odwrotne istnieje/.

Po dokonaniu wspomnianego przekształcenia i dokonaniu przekształcenia odwrotnego otrzymamy

$$Z(t) = \frac{\lambda^2}{(\lambda+\mu)^2} + \frac{\lambda \cdot \mu \cdot t}{\lambda+\mu} - \frac{\lambda^2 e^{-(\lambda+\mu)t}}{(\lambda+\mu)^2} \qquad /13/$$

W przybliżeniu można napisać, że

$$Z(t) = \frac{\lambda \cdot \mu \cdot t}{\lambda+\mu} \qquad /14/$$

a jeżeli $\frac{1}{\lambda} \gg \frac{1}{\mu}$, co zwykle ma miejsce, to

$$Z(t) \cong \lambda \cdot t \qquad /15/$$

Analogicznie stosując wspomnianą już teorię rozrzedzonych strumieni można pokazać, że

$$z^{*}(t) = \lambda^{*} . t \qquad /16/$$

Stąd straty $w(\lambda, t)$ mogą być ostatecznie zapisane w następującej postaci

$$w(\lambda, t) = \sum_{j,i=1}^{J,I} \lambda_i . t(a_{ij} . \tau + b_{ij}) + \sum_{j,i=1}^{J,I} \lambda_i^{*} t[(a_{ij}^{*} \tau + b_{ij}^{*}) + s_u] \qquad /17/$$

Kryterium minimalizacyjne /5/ będzie w tym przypadku miało postać

$$\frac{1}{Q_K} [\bar{K}(\lambda) + \sum_{j=1}^{J,I} \lambda_i . t(a_{ij} . \tau + b_{ij}) + \sum_{j,i=1}^{J,I} \lambda^{*} . t[(a_{ij}^{*} \tau + b_{ij}^{*}) + s_u]] \longrightarrow \min \qquad /18/$$

4. Wnioski i uwagi końcowe

W pracy sformułowano i przedstawiono problem oceny efektywności harmonogramu, stosując kryterium niezawodnościowe. Kryterium takie dotychczas nie było stosowane.

Dzięki oszacowaniu strat spowodowanych niewłaściwym działaniem harmonogramu poprzez określone wskaźniki niezawodnościowe ułatwiono ocenę efektywności harmonogramów. Pozwoli to na wybór odpowiedniego wariantu harmonogramu zgodnie z kryterium /18/. Nie sposób przy tym jednak nie wspomnieć o dokładności oceny efektywności harmonogramów przy stosowaniu proponowanego kryterium. Dokładność ta wynika z dokładności stosowanych wskaźników intensywności uszkodzeń λ i λ^{*} oraz współczynników modelu odnowienia a oraz b. Dokładność ta nie jest duża biorąc pod uwagę , że zakład produkcyjny, jeśli w ogóle stosuje harmonogramowanie do sterowania produkcją, nie dysponuje większą liczbą niż kilkoma realizacjami określonych wariantów harmonogramów. Przy tak szczupłych danych statystycznych selektywność kryterium /18/ może okazać się niedostateczna.

Jednak przy systematycznym wdrażaniu harmonogramów do sterowania, na przykład liniami montażowymi w zakładach przemysłu elektronicznego i maszynowego stosowanie poprawnego kryterium do oceny i wyboru spośród kilku wariantów harmonogramów może okazać się celowo i korzystne ekonomicznie.

LITERATURA

[1] Barlow E.R., Proshan F.: Matematical teory of Reliability. Tłumaczenie rosyjskie. Izd. "Sow Radio", Moskwa 1969.

[2] Howard A.R.: Dynamic Programming and Markov Processes. Tłumaczenie rosyjskie, Izd. "Sow. Radio", Moskwa 1964.

[3] Gulajew W.A.: Woprosy nadieżnostnogo projektirowanija cyfrowych sistiem dla uprawlienija proizwodstwiennymi processami. W książce "Toczność i nadiożnosť kibiernirticzeskich sistiem", "Naukowa Dumka", Kijów, 1970.

[4] Szor B.: Statisticzieskije metody analiza i kontrola kacziestwa i nadiożnosti. "Sow. Radio", Moskwa 1962.

Recenzent:Doc.dr hab.inż.Tadeusz Sawik

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

ОЦЕНКА КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА РАБОТЫ НАДЁЖНОСТНЫМ КРИТЕРИЕМ

Р е з ю м е

В работе оговариваются надёжностные проблемы оценки календарных планов для управления дискретными производственными процессами. Принято, что календарный план вместе с реализирующими устройствами , может рассматриваться как своего рода цифровая система. Построена надёжностная модель системы календарного планирования. Модель эта даёт возможность расчитать затраты возникающие в связи с несовершенством самого календарного плана а также устройств исполнительных систем.

SCHEDULES EVALUATION TAKING RELIABILITY CRITERIONS INTO ACCOUNT

S u m m a r y

Reliability problems of schedules evaluation for discrete industrial processes control are considered. The schedule with the equipment which realizes it is considered as a digital system. A reliability model for the scheduling system is built. It enables to evaluate a deterioration resulting from the faults of the schedule itself as well as the equipment of actuating systems.