

Igor AREFYEV¹

DIAGNOSTYKA I OCENA STANU PROCESU BUDOWY STATKU WEDŁUG SYSTEMU PERT W OPARCIU O METODĘ INTEGRALNEJ CECHY

Streszczenie

W pracy przedstawiona jest metoda diagnostyki i oceny stanu procesu budowy statku w oparciu o metodę integralnych cech w systemie PERT. Zaproponowano aparat matematyczny opisu integralnych cech i procedury określenia ich parametrów. Opisana została technologia tworzenia integralnej cechy dyskretnej produkcji na podstawie grafu Gantta i procedura oceny stanu danego procesu jako obiektu zarządzania według schematu «czas-zasoby». Rezultat ilustrowany jest przykładem budowy statku typu « rzeka-morze ».

Słowa kluczowe: diagnostyka, cecha integralna, kontrola, PERT, technologia,

Wstęp

Jednym z podejść do rozwiązania zadań prognozowania i oceny stanu procesów produkcyjnych dyskretnego typu jest metoda sieciowego planowania i zarządzania typu «czas-zasoby» (PERT). Jednak, mimo wszystkich zalet tej metody, sporządzanie procedur sprawnej kontroli i podjęcia decyzji w zakresie zarządzania jej środkami wymaga znacznego czasu i dostatecznie złożonego matematycznego aparatu modelowania, uwzględniając specyfikę budowy sieciowych wykresów.

Opracowanie technologii rozwiązania zadań kontroli i analizy stanu rzeczywistych procesów produkcyjnych w celu budowy zupełnie prostych modeli matematycznych stanowi jeden z podstawowych problemów w dowolnej dziedzinie stosowanej. W związku z tym w opracowaniu rozpatrywane jest jedno z perspektywicznych podejść do budowy modeli oceny stanu i prognozowania zachowania obiektów dyskretnego typu: metoda integralnych cech. Autor proponuje tę metodę dla rozwiązania zadań w zakresie oprogramowania operacyjnego zarządzania i podjęcia decyzji w zakresie zarządzania produkcją dyskretnego typu, do którego odnosi się również budowa okrętów. Z dostateczną dla praktycznych obliczeń

¹ Igor AREFYEV, prof. zw. dr hab. inż., Akademia Morska w Szczecinie, Instytut Inżynierii Transportu.

dokładnością można uznać ten podział za przekąźnikowy lub liniowy. Dokładność aproksymacji zależy od liczby wydarzeń w sieci. Model liniowy jest bliższy rzeczywistości i szerzej odzwierciedla przebieg procesu.

Średnia prędkość (intensywność wykonywania elementarnej pracy) wyprowadzona jest z wyrażenia [1,2]:

$$q = \frac{dV}{dt} = \frac{de \cdot n \cdot Z \cdot t}{a + 1}, \quad (1)$$

gdzie de – czas roboczej zmiany (godz./zmiana);

n – średnia liczba pracowników, zatrudnionych na zmianie do wykonania danej pracy (godz./zmiana);

Z – średni współczynnik wykonania norm ponad plan na zmianie (zmiana/dzień pracy);

t – liczba roboczych zmian na dzień (zmiana/dzień pracy);

a – współczynnik nie uwzględnionych strat czasu.

Zgodnie z topologią sieci w granicach interwału jednocześnie można wykonywać kilka podstawowych operacji. Całkowita prędkość jednocześnie wykonywanych prac w interwale określona jest przez wyrażenie:

$$q_j = \sum_{i=1}^1 q_{ij} = \sum_l^b \frac{de_{jl} \cdot t_{jl}}{a_{jl} + 1} n_{jl} Z_{jl}, \quad (2)$$

gdzie q_{jl} – prędkość wykonywania podstawowej pracy l w interwale i

$$i = \overline{1, I}, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, J}.$$

Rzeczywistą charakterystykę rozdziału wielkości prac w czasie przedstawimy w postaci cząstkowo-liniowej aproksymacji, która może być wyrażona przez sumę integralną [4]:

$$V^* = \sum_j V_j = \sum_j q_j \Delta t_j, \quad (3)$$

gdzie V_j – wielkość prac, wykonywana w interwale czasu j ;

Δt_j – czas interwału j ;

Przy $j = J$ uzyskamy planowaną (najbardziej prawdopodobną) wielkość prac:

$$V_{nl} = \sum_{j=1}^J V_j = \sum_{j=1}^J q_j \Delta t_j . \quad (4)$$

Rozpatrzone podejście oparte jest na naturalnym kwantowaniu osi czasu momentami zakończenia wszystkich wydarzeń sieci. Proste następstwo łańcucha prac, którego momenty zakończenia wydarzeń odpowiadają punktom przełomu rzeczywistej charakterystyki integralnego rozdziału wielkości prac określimy jako ekwiwalentny model rzeczywistej sieci, wyrażony przy pomocy środków klasycznej matematyki (geometrycznie).

Zmierzanie do minimum daje zależność:

$$V(t) = l \lim_{\Delta t_j \rightarrow \infty} \sum_j V_j = \int_0^1 q(t) dt . \quad (5)$$

Ta zależność aproksymuje cząstkowo-liniową cechę, tzn. przedstawia ją w postaci ciągłej krzywej, którą można interpretować poprzez znane prawa integralno-dyferencjalnego opisu funkcji liniowych przy pomocy środków klasycznej matematyki, jak również sprowadza do metodologii oceny stanu i prognozowania procesu produkcyjnego, nazwanego przez autora « metodą integralnych cech » (IC).

Zupełne przejście odpowiada przypadkowej nieskończonej detalizacji sieciowej modelu przy

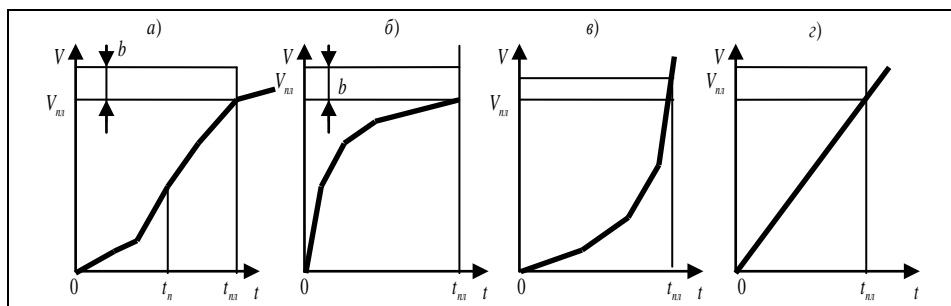
$$t = t_{nl} ; V(t) = V_{nl} . \quad (6)$$

Należy podkreślić, że budowa IC jest rozpatrywana w odniesieniu do sieci determinowanych, charakterystycznym dla technologii budowy okrętów. Tą drogą dochodzimy do utworzenia trzech równoznacznych modeli, które konsekwentnie transformują pojęcie technologii produkcji do modelu IC według schematu:

- a) wyjściowy sieciowy wykres;
- by) ekwiwalentny model sieciowy;
- w) wyjściowa integralna cecha.

APARAT OPISU INTEGRALNYCH CECH

Wykonana analiza znacznej liczby sieciowych modeli w produkcjach różnego typu, wśród nich w budownictwie okrętowym, pozwoliła wyprowadzić typowe IC, które aproksymują się przez standardowe integralno-dyferencjalne charakterystyki (Rys. 1).



Ryż. 1. Typowe charakterystyki podziału integralnego

Dla integralnego podziału wyprowadzany jest model w postaci (6):

$$V(t) = \begin{cases} 0, & \text{npu } t < 0 \\ V_{ni}, & \text{npu } t > t_{ni} \\ (V_{ni} + b) \left(1 - d_1 e^{-\frac{t}{T_3}} + d_2 e^{-\frac{t}{T_4}} \right) & \text{npu } t_{ni} \geq t \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{Tu } d_1 = \frac{T_3}{T_3 - T_4}; \quad d_2 = \frac{T_4}{T_3 - T_4};$$

T_3 i T_4 – stałe współczynniki, posiadające wymiarowość czasu.

Wielkość « b » wprowadzona jest w celu zwiększenia dokładności aproksymacji i określona jest przy $t = t_{ni}$:

$$b = \frac{V_{ni} \left(d_1 e^{-\frac{t_{ni}}{T_3}} - d_2 e^{-\frac{t_{ni}}{T_4}} \right)}{1 - d_1 e^{-\frac{t_{ni}}{T_3}} + d_2 e^{-\frac{t_{ni}}{T_4}}}. \quad (8)$$

W tym przypadku uzyskamy punkt przełomu integralnej cechy przyrównując drugą połowę pochodnej funkcji do zera. Wtedy określimy punkt przełomu jako

$$V(t_n) = (V_{nn} + b) \left(1 - \frac{T_3 + T_4}{T_3} e^{-\frac{t_n}{T_3}} \right) \quad (9)$$

Właśnie punkt przełomu określa typ IC. Na Rys. 1 pokazane są cechy: z normalnym (a), przednim (b) i tylnym (c) frontem prac. Cecha typu (d) jest teoretyczna (prognozowana). Ona może być zastosowana w skrajnie rzadkim przypadku – równomiernym podziale prac na całym froncie wykonywania operacji produkcyjnych. A więc, ilość wykonywanych operacji w przypadku procesu produkcyjnego dyskretnego typu w rzeczywistych warunkach będzie wynosiła:

$$V(t) = \begin{cases} 0, & npu \quad t < 0, \\ V_{nn}, & npu \quad t > t_{nn}, \\ (V_{nn} + b) \left(1 - e^{-\frac{t}{T_3}} \right) & npu \quad t_{nn} \geq t \geq 0, \end{cases} \quad (10)$$

ZWIĄZEK WYJŚCIOWYCH DANYCH OBIEKTU Z PARAMETRAMI MODELU

Znajdziemy zależności wiążące dane wyjściowe z parametrami modelu. Po przekształceniu wyrażenia (7) otrzymamy w jednostkach względnych położenie punktu przełomu na osi czasu:

$$\frac{\varphi_{T_1}}{\varphi_{T_3}} - 1 = e^{-\frac{\varphi_{T_1}}{\varphi_{T_3}}} \left(\frac{2 - \varphi_{T_1} / \varphi_{T_3}}{\varphi_{T_1} / \varphi_{T_3} - 1} \right), \quad (11)$$

gdzie $\varphi_{T_1} = \frac{T_1}{t_{nn}}$; $\varphi_{T_3} = \frac{T_3}{t_{nn}}$; $\varphi_{t_{nn}} = \frac{T_n}{t_{nn}}$.

Ustalimy warunek znajdowania punktu przełomu krzywej obwodzonej na odcinku cechy cząstkowo-liniowej o maksymalnym nachyleniu. Prędkość przebiegu procesu w punkcie przełomu obliczymy jako

$$Q_{\max} = \frac{V_{nl} + b}{T_3} e^{-\frac{t_n}{T_3}} \quad (12)$$

gdzie

$$T_1 = T_3 + T_4 = \frac{(V_{nl} - V_n) + b}{Q_{\max}}, \quad (13)$$

gdzie T_1 – czas, niezbędne dla wykonywania kompleksu operacji z maksymalną szybkością;

$\frac{V_{nl} - V_n}{Q_{\max}}$ – czas niezbędny dla wykonywania pozostałych ilości prac z maksymalną prędkością;

$\frac{b}{Q_{\max}}$ – dodatkowy czas dla dodatkowych ilości.

Przedstawimy rozwiązanie w postaci bezwymiarowej:

$$\varphi_{T_1} = \frac{\delta_n}{\varphi_{Q_{\max}}} + \frac{\varphi_b}{\varphi_{Q_{\max}}}, \quad (14)$$

gdzie

$$\delta_n = 1 - \varphi_{V_n}; \quad \varphi_{V_{nl}} = \frac{V_n}{V_{nl}}; \quad \varphi_{Q_{\max}} = \frac{t_{nl}}{V_n}; \quad \varphi_b = \frac{b}{V_{nl}}$$

Jeśli równanie krzywej aproksymującej za punktem przełomu przedstawimy w formie operacyjnej, to:

$$(T_1 \cdot S + 1)(V - V_n) = (V_{nl} - V) + b, \quad (15)$$

gdzie V – bieżąca wielkość objętości wykonywanych prac.

Rozwiązanie (15) dla punktu (V_{n1}, t_{n1}) zapiszemy w postaci:

$$(V_{n1} - V_n) = (b + V_{n1} - V_n) \left(1 - e^{-\frac{t_{n1} - t_n}{T_1}} \right), \quad (16)$$

stąd po przekształceniach

$$b = \frac{(V_{n1} - V_n) e^{-\frac{t_{n1} - t_n}{T_1}}}{1 - e^{-\frac{t_{n1} - t_n}{T_1}}} \quad (17)$$

Po przejściu do wielkości bezwymiarowych zapiszemy warunek przechodzenia cechy integralnej przez planowy punkt w ostatecznej postaci

$$\frac{\varphi_b}{\varphi_{Q_{\max}}} = \frac{\delta / \varphi_{Q_{\max}}}{e^{\frac{1 - \varphi_{t_n}}{\varphi_{T_1}}} - 1}. \quad (18)$$

Rozwiązać system powyższych równań transcendentalnych można przy pomocy metody sukcesywnego zbliżenia lub graficznie.

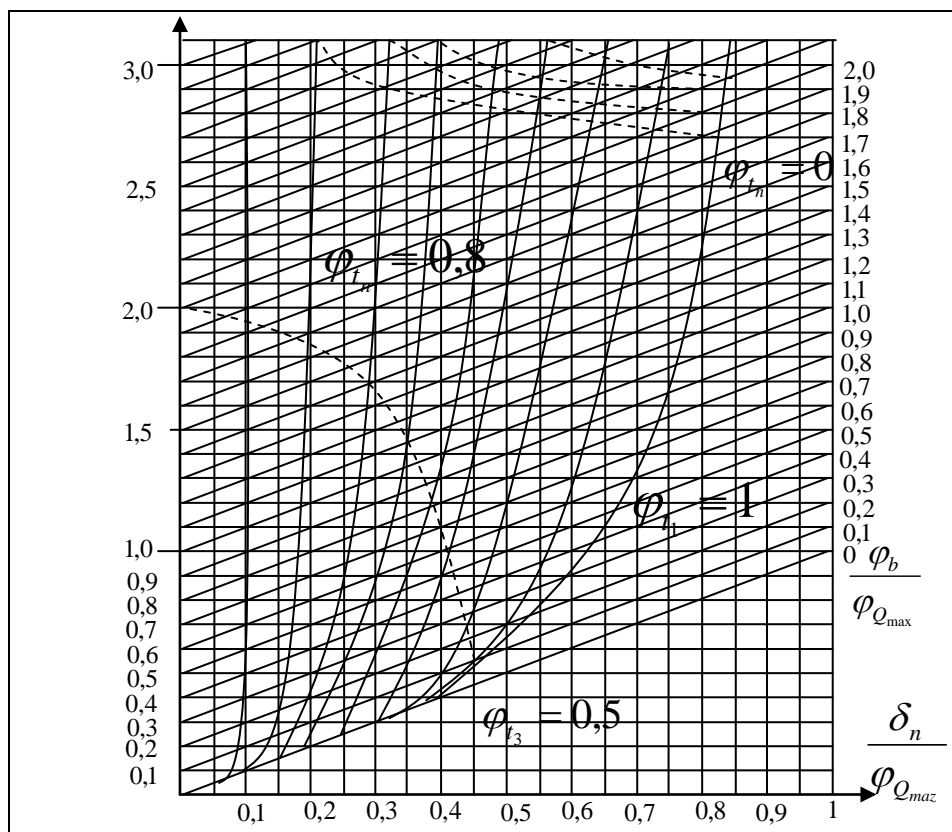
Obliczenia pozwoliły zbudować nomogram dla określenia parametrów modelu matematycznego integralnej cechy (Rys. 2). W ten sposób został opracowany aparat matematyczny realizacji wzorcowego trybu funkcjonowania obiektu zarządzania środkami integralnych cech.

PRZYKŁAD BUDOWY INTEGRALNEJ CECHY

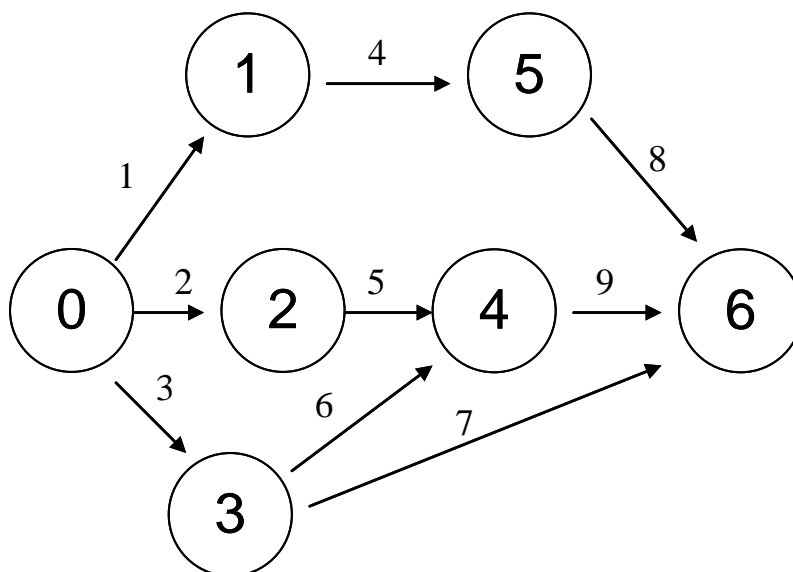
Otrzymane rezultaty ilustrowane są konkretnymi przykładami. Grupa ekspertów, technologów i organizatorów produkcji opracowała technologię budowy statku typu „rzeka-morze” wg projektu nr 576 w postaci wykresu sieciowego (Rys. 3).

Jednocześnie podstawowe parametry modelu sieciowego (wykresu sieciowego) zostały przedstawione w Tabeli 1. Budowa IC według tych danych jest w pełni możliwa przy pomocy znanych metod komputerowych (Rys. 6). Skomplikujemy zadanie i zbudujemy IC z wykorzystaniem wersji jej kształtowania w oparciu o graf Gantta (Rys. 4). Rzecz w tym, że szereg zakładów budowy statków posiada własne cykle specyficznych kompleksów operacji, gdzie w celu planowania i prognozowania stosowany jest graf Gantta [3].

Taki warunek podyktowany jest koniecznością podziału elementów jednolitego procesu na wydziały i hale produkcyjne, uwzględniających ich specyfikę i jednolitość technologiczną: budowa konstrukcji metalowych i drewnianych, odlewanie, montaż (kompletowanie) poszczególnych węzłów i zespołów itp. W przypadku budowy statku niektóre jego elementy, jak kadłub, zespół pędnika, instalacja energetyczna, mechanizmy pokładowe budowane są na różnych wydziałach, z których każdy posiada swoje specyficzne wyposażenie, takielunek, zasoby ludzkie. Dopiero potem na pochylni montowany jest gotowy wyrób – statek. Akurat w tym przypadku korzystne jest zastosowanie grafu Gantta, rozpoczynając jego sporządzanie według poszczególnych dróg wykresu sieciowego w celu efektywnej kontroli i zarządzania poszczególnymi rodzajami procesu produkcyjnego nie tylko pod względem kompleksowego wskaźnika czas-zasoby, ale też pod względem prędkości wykorzystania wyodrębnionego zasobu na każdą operację (R/t).



Rys. 2. Nomogram dla parametrów modelu IC



Rys. 3. Wykres sieciowy budowy statku typu „rzeka-morze” (projekt nr 576)

Tabela 1.

Dane budowy statku typu „rzeka-morze” (projekt nr 576)

N _o	R	R	t	R/t
1	0 - 1	16	7	2,29
2	0 - 2	22	13	1,69
3	0 - 3	13	8	1,63
4	1 - 5	0	19	0,00
5	2 - 4	7	14	0,50
6	3 - 4	11	19	0,58
7	3 - 6	5	3	1,67
8	5 - 6	6	8	0,75
9	4 - 6	7	11	0,64

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1 zawiera wszystkie niezbędne dane dla tej procedury: P – numer operacji zgodnie z wykresem sieciowym, R – zasób pod względem każdej operacji, t – czas wykonania operacji, R/t – prędkość zużycia zasobu pod względem każdej operacji.

Oznaczmy drogi na grafie Rys. 1, których jest tylko cztery: I: 1 - 4 - 8, II: 2 - 5 - 9, III: 3 - 6 - 9, IV: 3 - 7.

Teraz znajdziemy całkowity czas dla każdej drogi:

I: $7 + 19 + 8 = 34$, II: $13 + 14 + 11 = 38$, III: $8 + 19 + 11 = 38$, IV: $8 + 3 = 11$.

Krytyczną drogą jest droga z maksymalnym czasem, tzn. w danym przypadku to są drogi numer dwa i numer trzy (II, III).

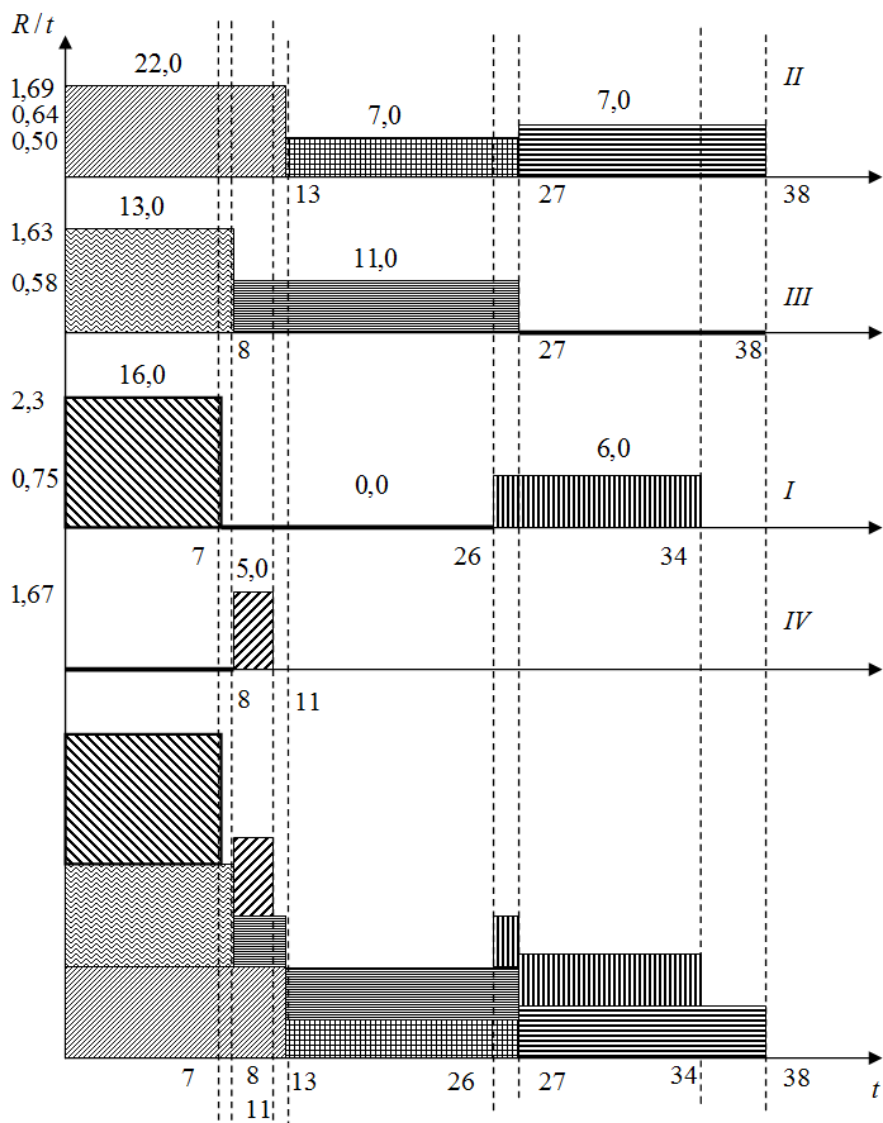
Obliczymy sumę zasobów niezbędnych do realizacji całego programu budowy statku klasy «rzeka-morze» według Tabeli 1.

$$\sum R = 16 + 22 + 13 + 0 + 7 + 11 + 5 + 6 + 7 = 87.$$

Z tej samej Tabeli 1 obliczymy prędkość zużycia zasobów według każdej z prac R/t .

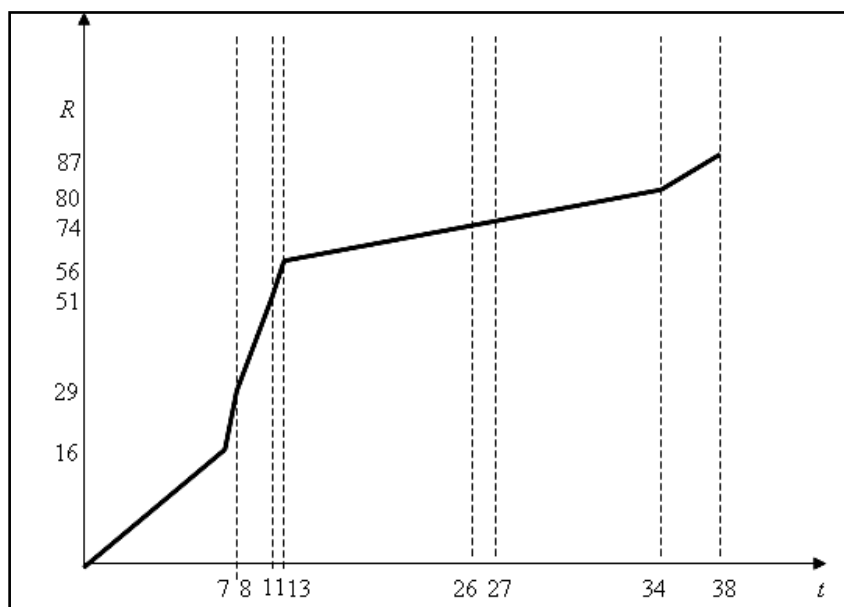
Zestawiając uogólniony graf Gantta, łatwo zbudować integralną cechę, co w gruncie rzeczy nie zmieni jej formy, w odróżnieniu od przypadku gdyby zbudowana tradycyjnym sposobem według metody przedstawionej powyżej. Na podstawie otrzymanych danych (Rys. 4) zbudujemy łamaną IC (Rys. 5), którą aproksymujemy w postaci cechy obliczeniowej. Ona w pełni pokrywa się ze zbudowaną wcześniej (Rys. 6).

W praktyce błąd inżynierski modelowania IC powinien być wynosić nie więcej niż 5 % - 7 %. Jeśli stało się inaczej, to modelowanie IC według grafu Gantta wykonano niedokładnie lub z błędami. I wtedy obliczenia należy powtórzyć. W przypadku prognozowania wykonania operacji zazwyczaj przechodzi się na jednostki względne, wyrażone przez współrzędne 1. 0 - 1. 0, lub w stosunku procentowym, co w zasadzie jest jedno i to samo. W naszym przypadku, jeśli za 100 % przyjmujemy ogół wykorzystywanych zasobów i ustalony czas procesu produkcyjnego, to otrzymamy, że t równe jest 100 % ($t = 1$) i R jest równe 100 % ($R = 1$). Wtedy liniową IC można przedstawić na polu kwadratowym rozwiązania zadań prognozy i oceny stanu procesu produkcyjnego (obiektu zarządzania) i przejść do analizy tego obiektu w jednostkach względnych. Dla ilustracji powyższego twierdzenia zwrócimy się do przykładu Rys. 6.

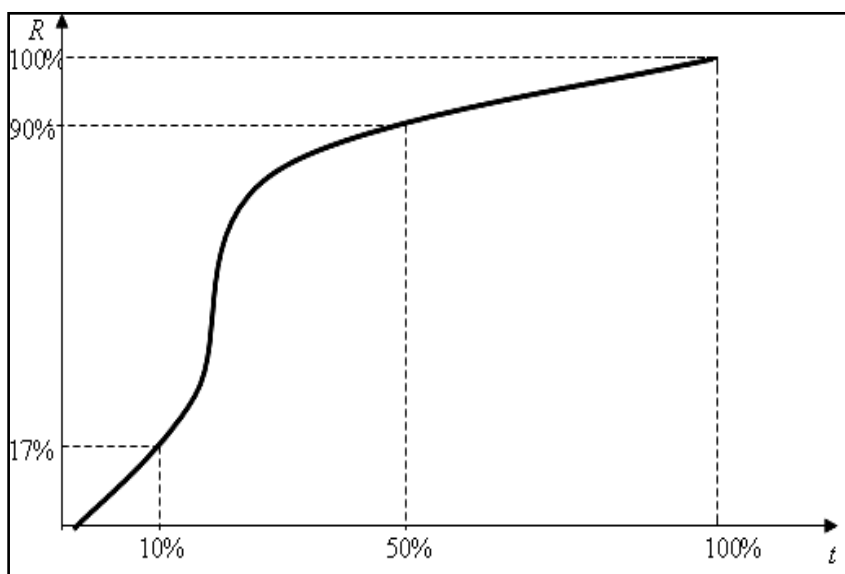


Rys. 4. Graf Gantta

Analiza prognozowania procesu budowy statku klasy «rzeka-morze» nr projektu 576 zgodnie z przyjętą technologią (Rys. 1) pokazuje, że przy 50 % czasu trwania procesu produkcyjnego niezbędne jest zużycie 90 % zasobów, a do przerobu 17 % zasobów jest potrzebne 10 % czasu (Rys. 6).



Rys. 5. Krzywa IC według grafu Gantta (Tabela 1)



Ryż. 6. Prognozowanie stanu procesu produkcyjnego budowy statku projektu nr 576 (rzeka-morze)

WNIOSKI

W obecnej pracy zaproponowano technologie i modele organizacji, metody budowy, kontroli, prognozowania w celu pomocy i podjęcia decyzji w zakresie zarządzania obiektami produkcji dyskretnego typu na podstawie integralnych cech w środowisku systemu PERT.

Przy tym orientacja na metody PERT zawierające w osnowie zorientowany ukierunkowany graf pozwala na szerokie wykorzystanie zaproponowanej metodologii dla każdego procesu lub obiektu, którego technologia określana jest przez system związków i wydarzeń przyczynowo-skutkowych. Do danej klasy technologii należą praktycznie wszystkie obiekty i procesy ciągłej i dyskretniej produkcji, budownictwa, budownictwa maszynowego, budownictwa okrętowego, budowy przyrządów łącznie z technologiami montażowymi.

LITERATURA

1. Arefyev I., *Model zarządzania procesem produkcyjnym na bazie charakterystyki integralnej*, Szczecin, AM, Zeszyty naukowe N 9 (8), 2007, s. 14-20
2. Arefyev I., *Adaptation of integral Characteristics Method for an Estimation of Critical Navigational Situations in Difficult Rout Sections* Vol.18,No.2A, 2009. p. 32-40
3. Арефьев И.Б., Новиков М.Н., *Метод построения интегральных характеристик и оценка допустимой области системотехнического объекта. // Системный анализ в проектировании и управлении. 10-я Международная научно-практическая конференция. – СПб, Политехнический университет, 2006 г.,ч. 3 – с.53*
4. Месарович М. Такахага Н., *Общая теория систем: математические основы*, - М: Мир, 1978 г. 600 с.

**DIAGNOSTICS AND CONDITION ESTIMATION
PROCESS OF CONSTRUCTION OF THE SHIP ON SYSTEM PERT
ON THE BASIS OF INTEGRATED CHARACTERISTICS**

ABSTRACT

The method of diagnostics and an estimation of a condition of process of construction of a ship on the basis of integrated characteristics in PERT system is shown in the paper. The mathematical apparatus of the description of integrated characteristics and procedure of determination of their parameters is given. The technology of forming of the integrated characteristic of discrete production on the basis of Gantt chart and procedure of an estimation of a condition given process as object of management under the scheme "times-resources" is resulted. The result is illustrated by an example of construction of a ship of type "river-sea".

Keywords: diagnostics, the integrated characteristic, the control, PERT, technology,