

Leopold BRZYSKI, Zdzisław OSTROWSKI

**O przydatności praktycznej metod T. P. Wrighta, M. P. Guiberta
i J. R. de Jonga w analizie ekonomicznej przedsiębiorstw
przemysłu maszynowego**

Производственная пригодность методов Т. П. Райта, М. П. Гюберта
и Ж. Р. де Жонга для экономического анализа на предприятиях
машиностроительной промышленности

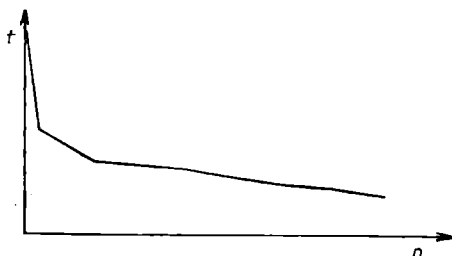
On the Practical Usefulness of the Methods by W. T. Wright, M. P. Guibert and
I. R. Jong in the Economic Analysis of Engineering Industry Enterprises

Wśród relacji ekonomicznych szczególnie miejsce zajmuje wydajność pracy, z nią bowiem kojarzonych jest wiele zagadnień bardzo istotnych dla przedsiębiorstw. Poziom wydajności pracy zależy od wielu czynników, wśród których planowanie i precyzyjne metody obliczania kosztów należą do najważniejszych.

Związek wydajności z pracochłonnością jednostkową jest taki, że relacje te budowane są przy wykorzystaniu tych samych danych:

$$P/Q \cdot Q/P = 1 = w \cdot t \quad (1)$$

gdzie: P — ilość wytworzonej produkcji, Q — ilość roboczogodzin zużytych do wytworzenia produkcji (P), w — wydajność pracy, t — pracochłonność jednostkowa. Można więc przyjąć — i tak jest w istocie, że o poziomie pracochłonności jednostkowej decydują te same czynniki, co o poziomie wydajności pracy. Trudne jest jednak skwantyfikowanie kierunków i natężenia ich oddziaływania, jak również wnioskowanie o przyszłym zachowaniu. Spowodowało to, że w prowadzonych analizach bada się tendencję zachodzących zmian w pracochłonności jednostkowej, przyjmując, że jej poziom kształtowany jest przez oddziaływanie czynników, których łączny wpływ może być mierzony obniżką pracochłonności jednostkowej.



Empiryczna krzywa pracochłonności jednostkowej kolejnych wyrobów w serii —
łożysko typ A

Empirical curve of unitary labour intensity of successive products in the series:
bearing type A

Przykładem ilustrującym to zagadnienie jest wykres, z którego widać, że najwyższą obniżkę pracochłonności jednostkowej uzyskuje się w początkowym okresie produkcji, a w miarę wzrostu ilości wyprodukowanych wyrobów w serii jej bezwzględny poziom wykazuje tendencję malejącą. Przyczyną tego zjawiska są następujące czynniki, wśród których najistotniejsze to: 1) kwalifikacje pracowników sprzyjające szybkiemu narastaniu wprawy; 2) jakość, ilość i kompletność oprzyrządowania; 3) techniczne i organizacyjne przygotowanie nowej produkcji; 4) jakość, nowoczesność i uniwersalność parku maszynowego, przekazywanego z produkcji wyrobów o zmniejszonym zapotrzebowaniu społecznym do realizacji nowych zadań; 5) zaopatrzenie w materiały i narzędzia handlowe.

Suma oddziaływań wszystkich czynników — w tym wymienionych — wpływa na prawidłowość kształtowania się pracochłonności jednostkowej wyrobów w serii, którą można wyrazić za pomocą matematycznych symboli.

Z przyczyn natury technicznej i ekonomicznej wnioskować można, że omawiane czynniki, a ściślej wpływ ich oddziaływania nie powinien wykazywać zasadniczych zmian w krótkich okresach. Na tej podstawie wnioskować można, że skwantyfikowana prawidłowość spadku pracochłonności jednostkowej kolejnych wyrobów w serii może służyć projektowaniu krzywych spadku pracochłonności dla wyrobów przewidywanych do produkcji w okresie przyszłym i technologicznie podobnych. Ponieważ całkowite podobieństwo konstrukcyjne i technologiczne nie może iść w parze z rozwojem nauki i techniki, w działaniu takim, jak opisano, stosowane są różne metody dla uzyskania możliwie największej precyzji przewidywań.

W badaniu poddano weryfikacji trzy metody stosowane z dużym powodzeniem w przemyśle lotniczym krajów wysoko uprzemysłowionych; są to: metoda T. P. Wrighta, M. P. Guiberta i J. R. de Jonga.

1. Metoda T. P. Wrighta nazwana jest także „prawem Wrighta” lub „prawem 80%”. Według założeń metody, pracochłonność jednostkową dowolnego wyrobu w serii można wyrazić następującym wzorem:

$$t_n = t_1 \cdot n^{-a} \quad (2)$$

gdzie: t_n — pracochłonność jednostkowa wyrobu oznaczonego w serii kolejnym numerem n , t_1 — pracochłonność pierwszego wyrobu, n — kolejny numer wyrobu, a — wykładnik potęgowy oznaczający kąt nachylenia krzywej spadku pracochłonności do odciętej.

Z wzoru (2) wynika, że liczba godzin przepracowanych dla wykonania wyrobu o kolejnej liczbie podporządkowanej ($2n$) jest w pewnym stałym stosunku do czasu wykonania wyrobu oznaczonego w serii kolejnym numerem n :

$$\frac{t_{2n}}{t_n} = \frac{t_1 (2n)^{-a}}{t_1 n^{-a}} = \frac{2^{-a} \cdot n^{-a}}{n^{-a}} = 2^{-a} = G \quad (3)$$

gdzie: G — współczynnik redukcji czasu jednostkowego.

Krzywa wyznaczona wzorem (2) przyjmuje w układzie współrzędnych logarytmicznych kształt linii prostej o nachyleniu $-a$. Ten oczywisty fakt w konfrontacji z wzorem (3) prowadzi do wniosku, że obniżka pracochłonności jednostkowej może być wyrażona przy pomocy dwu wskaźników:

1) bezwzględnej obniżki pracochłonności, która jest różnicą w nakładach pracy żywej na wyrób n i $n+1$,

2) względnej obniżki pracochłonności, której spadek jest stały dla wyrobów o podwajającej się liczbie (n), tj. takich, których kolejne numery w serii oznaczają podwojenie wielkości produkcji.

Przy wykładniku $a=0,333$ — uzyskiwanym w przemyśle lotniczym Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej i Francji — można wyliczyć na podstawie wzoru (3), że przy podwojeniu wielkości produkcji pracochłonność jednostkowa spadnie do 80%.

$$2^{-0,333} = 0,794 \quad (4)$$

Prawidłowość ta jest uzasadnieniem nazwy metody.¹

Wykorzystując założenia tej metody przeprowadzono badania pracochłonności empirycznej, jaką uzyskano w produkcji dwu typów łożysk, oznaczając je umownymi symbolami A i B. Uzyskane w ten sposób informacje wykorzystane zostały do sporządzenia prognozy pracochłonności

¹ L. T. Brzyski: *Metody statystyczne w analizie i prognozowaniu działalności przedsiębiorstw*, PWE, Warszawa 1977.

w produkcji następných dwu typów łożysk konstrukcyjnie i technologicznie podobnych, dla których przyjęto oznaczenia A' i B' . Prognozę tę sprawdzono z danymi rzeczywiście osiągniętymi w produkcji. Otrzymane wyniki zestawione zostały w tabeli, przy czym przy sporządzaniu prognozy wyrobu B' dokonano korekty pracochłonności technologicznej pierwszego wyrobu o wielkość odchylenia stwierdzonego przy analizie wyrobu B, tj.

$$t_1 \cdot 1,2644 \quad (5)$$

Podsumowując wyniki prezentowanego badania można stwierdzić, że spadek pracochłonności jednostkowej w produkcji łożysk tocznych przebiega nie zawsze zgodnie z klasyczną formułą T. P. Wrighta. Ilustruje to wyrażenie (5). Mimo to metoda jest dość precyzyjnym narzędziem analitycznym, a możliwości jej praktycznego stosowania wykraczają poza produkcję wyrobów o dużej złożoności konstrukcyjnej i technologicznej, to jest tam, gdzie w naszym kraju metoda ta została zweryfikowana. Na uwagę zasługuje tu również fakt, że wyższą precyzję przy wykorzystaniu tej metody uzyskuje się w badaniach pracochłonności całkowitej niż jednostkowej i precyzja ta wzrasta wraz z ilością wyrobów w serii objętych badaniem.

2. Metoda M. P. Guiberta² zwraca również uwagę na fakt, że pracochłonność pierwszego wyrobu w serii i szeregu następných kształtowana jest całym szeregiem czynników różniących te wyroby od poziomu, jaki wynikałby z prawidłowości produkcji w okresach następných. Przyjmuje się więc, że wyrobem najbardziej pewnym i możliwie najbliższym pierwszego w serii jest ten, który rozpoczyna produkcję ustabilizowaną. Ustalenie numeru tego wyrobu dokonywane jest w oparciu o tempo produkcji:

$$\begin{aligned} a &= (7\% \pm 1\%)S \\ n_r &= S/a \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie: a — tempo produkcji, $a=8$ dla $S \leq 100$ szt., $a=6$ dla $S \geq 500$ szt., n_r — numer pierwszego wyrobu z produkcji ustabilizowanej, S — wielkość serii wyrobów.

W wyniku badań empirycznych M. P. Guibert dochodzi do wniosku, że długość okresu rozruchu liczona ilością wyprodukowanych wyrobów sięga często jednej trzeciej liczebności serii. Przyjmując to założenie otrzymano:

² I. Coupain: *Unification de certains symboles et rappel de quelques formules unilisees par les services de production technique et science*, „Aeronautique”, 1960, nr 4.

$$n_r = \frac{s \cdot 33}{100} = 45 \quad (7)$$

Brak danych empirycznych dla wyrobu oznaczonego numerem kolejnym 45 zdecydował o tym, że przyjęto wyrób najbliższy, oznaczony kolejnym numerem 52, którego pracochłonność jednostkowa wynosiła (t_r). Przy tym założeniu uzyskana w wyniku dokonanych obliczeń teoretyczna pracochłonność całkowita badanej serii łożysk typu A różniła się od empirycznej aż o 21,26%. Wynik ten świadczy o niewłaściwym ustaleniu wyrobu pierwszego (n_r) oraz o tym, że równanie (7) nie musi być słuszne dla każdego rodzaju produkcji. Te dysproporcje, a ściślej, trudności w ustaleniu stabilnej granicy okresu rozruchu mają zapewne uzasadnienie w wielu przyczynach związanych z charakterem produkcji. Na przykład wyroby o długim cyklu produkcyjnym i znacznej pracochłonności jednostkowej są wytwarzane systematycznie i w długich okresach. Inne natomiast, jak np. łożyska, mogą i są wytwarzane w dostosowaniu do wolnych okresowo zdolności produkcyjnych lub zapotrzebowania handlu. W tym ostatnim przypadku spływy produktu finalnego mogą być zróżnicowane i ustalenie tempa produkcji według wzoru (7) jest praktycznie niemożliwe. Ponadto zauważyć można, że czynniki już wymienione, kształtujące spadek pracochłonności, jak również nieterminowe dostawy, awaria maszyn, absencja pracowników itp. mogą powodować, że tempo produkcji a może kształtować się odmiennie nawet w przedsiębiorstwach o identycznym profilu produkcyjnym. Uwzględniając to dla łożysk typu A przyjęto jako granicę rozruchu wyrobów, którego pracochłonność jednostkowa wykazywała różnicę mniejszą od 5% od pracochłonności wyrobu następnego. W badanej serii wyrobem (n_r) o pracochłonności jednostkowej (t_r) przy tym kryterium był wyrób oznaczony kolejnym numerem 707. Stąd współczynniki redukcji czasu jednostkowego wyniosły:

$$\phi_1 = \frac{t_1}{t_r} = 3,791 = \phi_1 \quad (8)$$

$$\phi_{18} = \frac{t_{18}}{t_r} = 1,665 = \phi_2 \quad (9)$$

$$\phi_{107} = \frac{t_{107}}{t_r} = 1,000 = \phi_3 \quad (10)$$

gdzie: ϕ_n — współczynnik czasu jednostkowego dla wyrobu n , t_r — pracochłonność jednostkowa wyrobu pierwszego z produkcji ustabilizowanej (wyrób oznaczony numerem n_r). Mając na uwadze sygnalizowane już wyżej twierdzenie M. P. Guiberta, że czas t_r można w praktyce ustalić

z dużo większą dokładnością niż t_1 , dochodzi się do wzoru umożliwiającego wyliczenie pracochłonności jednostkowej dowolnego wyboru w serii:

$$t_n = \varphi_n \cdot t_r \quad (11)$$

gdzie: t_n — pracochłonność jednostkowa wyrobu oznaczonego w serii kolejnym numerem n .

Ponieważ krzywe spadku pracochłonności jednostkowej wykazują kształt zbliżony do hiperboli, M. P. Guibert przyjmuje hiperbolę równoboczną:

$$X \cdot Y = Q = \text{const.} \quad (12)$$

Biorąc pod uwagę, że pracochłonność t_1 nie dąży do nieskończoności i czas wykonany wyrobu określonego jako nieskończoność nie dąży do zera, M. P. Guibert dokonuje przesunięcia osi układu, aby krzywe doświadczalne spełniały warunek (12):

$$\begin{aligned} X &= n + P \\ Y &= -M \end{aligned} \quad (13)$$

W ten sposób równanie ogólne na wyliczenie współczynnika redukcji czasu jednostkowego przyjmuje następującą postać:

$$\phi = M + \frac{Q}{n + P} \quad (14)$$

Wzory (8, 9, 10) określają punkty, przez które przechodzi hiperbola określona wzorem (14). Na podstawie tych danych można ułożyć trzy równania:

$$\phi_1 = M + \frac{Q}{n_1 + P} \quad (15)$$

$$\phi_2 = M + \frac{Q}{n_2 + P} \quad (16)$$

$$\phi_3 = M + \frac{Q}{n_3 + P} \quad (17)$$

umożliwiające wyznaczenie parametrów M , Q i P :

$$P = \frac{\phi_1 n_2 (n_2 - n_3) + \phi_2 n_2 (n_3 - n_1) + \phi_3 n_3 (n_1 - n_2)}{\phi_1 (n_3 - n_2) + \phi_2 (n_1 - n_3) + \phi_3 (n_2 - n_1)}$$

$$M = \frac{\phi_1 \phi_2 (n_1 - n_2) + \phi_1 \phi_3 (n_2 - n_1) + \phi_2 \phi_3 (n_2 - n_3)}{\phi_1 (n_3 - n_2) + \phi_2 (n_1 - n_3) + \phi_3 (n_2 - n_1)}$$

$$Q = (\phi_1 - M) \cdot (n_1 + P)$$

Całkując wzór 14 w granicach od 0,5 do $n+0,5$ otrzymuje się wzór na sumę współczynników spadku czasów jednostkowych, który pomnożony przez t_r daje wzór na wyliczenie pracochłonności całkowitej:

$$Q_n = (M \cdot n + Q \cdot \ln \frac{n + 0,5 + P}{0,5 + P}) \cdot t_r \quad (18)$$

stąd czas średni:

$$\frac{Q_n}{n} = (M + \frac{Q}{n} \cdot \ln \frac{n + 0,5 + P}{0,5 + P}) \cdot t_r \quad (19)$$

gdzie: Q_n — pracochłonność całkowita serii wyrobów.

Wyniki rachunku przeprowadzonego tą metodą zestawione zostały w tabeli. Konfrontując je z wynikami otrzymanymi przy wykorzystaniu metody T. P. Wrighta można stwierdzić, że metoda Guiberta zapewnia większą precyzję w początkowym okresie produkcji i gorsze wyniki w produkcji ustabilizowanej. Wydaje się więc, że w rachunku planistycznym dla uruchomień produkcji nowych wyrobów powinny znaleźć zastosowanie obydwie metody.

3. Metoda J. R. de Jonga³ w części swych założeń jest zbieżna z metodą T. P. Wrighta. Zakłada ona, że czas wykonania kolejnego wyrobu w serii jest funkcją czasu niezbędnego dla wykonania wyrobu pierwszego oraz że każdorazowe podwojenie wielkości wykonanej partii powoduje spadek pracochłonności jednostkowej średnio o 20%. Odmienność tej metody polega na założeniu, że czas potrzebny do wykonania wyrobu jest sumą dwóch składników:

$$t_1 = m \cdot t_1 + (1 - m) \cdot t_1 \quad (20)$$

gdzie: t_1 — pracochłonność jednostkowa wyrobu pierwszego, m — współczynnik dla czasu nie ulegającego redukcji przyjmuje wartość w granicach $0 \leq m \leq 1$, $(1 - m)$ — współczynnik dla czasu ulegającego redukcji w miarę wzrostu liczby wykonanych sztuk.

Założenia te prowadzą do sformułowania wzoru na wyliczenie pracochłonności jednostkowej dowolnego wyrobu w serii:

$$t_n = t_1 (m + \frac{1 - m}{n^a}) \quad (21)$$

gdzie: t_n — pracochłonność jednostkowa dla wyrobu w serii o kolejnym

³ Cz. Szpaczyński: *Przegląd metod określania pracochłonności nowo uruchamianych wyrobów*, „Organizacja, Samorząd, Zarządzanie”, 1967, nr 10.

Zestawienie odchyłeń pracochłonności teoretycznej od empirycznej badanych łożysk tocznych
 Deviations of theoretical labour intensity from empirical data in ball bearing production

Wyrób	Ilość wyrobów		Odchylenia pracochłonności w procentach			
	od 1 do n	w partii	metoda T. P. Wright'a		metoda M. P. Guibert'a	
			całkowita	jednostkowa	całkowita	jednostkowa
Łożysko typ A	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
	18	17	23,23	26,34	30,76	38,45
	52	34	5,07	-6,33	5,13	-10,96
	87	35	-0,79	-11,49	-2,36	-18,10
	107	20	0,00	4,21	-1,80	1,76
	117	10	0,00	0,52	-1,68	0,08
	137	20	0,22	1,97	-1,21	2,70
Łożysko typ A'	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
	8	7	-8,79	-10,74	-0,44	-0,56
	17	10	-0,59	9,39	5,80	13,39
	51	34	0,67	1,68	0,80	-3,19
	55	4	0,58	1,18	0,34	-7,34
Łożysko typ B	1,0	1,0	26,34	26,44	0,00	0,00
	7,1	6,1	25,58	25,40	4,61	5,48
	19,2	12,1	11,13	2,22	-1,03	-4,50
	34,4	15,2	2,94	-7,65	-5,55	-11,41
	51,0	16,6	0,00	-6,72	-6,19	-7,63
	69,2	18,2	-0,25	-1,08	-5,57	0,86
	82,0	12,8	-0,03	-1,41	-3,22	5,74
88,0	6,0	-0,01	0,33	-2,58	5,89	
Łożysko typ B'	1,0	1,0	26,44	26,44	0,00	0,00
	4,0	3,0	22,00	20,49	-3,54	-4,73
	11,5	7,5	8,77	8,42	-6,22	-7,76
	21,7	10,2	5,35	0,90	-5,71	-5,04
	32,1	10,4	2,99	-2,57	-5,83	-6,20

numeryze n , n — kolejny numer wyrobu w serii, a — współczynnik potęgowy określający wielkość spadku pracochłonności robót, których czas ulega redukcji w miarę wzrostu liczby wykonanych sztuk.

Z powyższego wzoru widać, że po przyjęciu założenia, iż parametr $m=0$, równanie przyjmie postać identyczną z formułą T. P. Wrighta (2). Parametr m można wyznaczyć, wykorzystując zależności występujące pomiędzy teoretycznymi i empirycznymi współczynnikami spadku pracochłonności jednostkowej:

$$\phi_n = \frac{t_n}{t_1} = m + \frac{1-m}{n^a} \quad (22)$$

gdzie: ϕ_n — współczynnik spadku pracochłonności jednostkowej wyrobu o kolejnym numerze n .

Wykorzystując wzór (22), przy pomocy metody najmniejszych kwadratów otrzymuje się ostateczny wzór na wyliczenie parametru m :

$$m = \frac{\sum_1^n \phi_n - \sum_1^n \frac{1}{n^a}}{n - \sum_1^n \frac{1}{n^a}} \quad (23)$$

Dla badanej serii łożysk typu A wartość współczynnika m przy wyliczonym wykładniku potęgowym $a=0,2816$ wyniosła — 0,0016. Uzyskana ujemna wartość wykładnika dla czasu nie podlegającego redukcji jest sprzeczna z założeniami metody $0 \leq m \leq 1$ i stąd dalsze badania przeprowadzono, wykorzystując założenia, że przy podwojeniu partii wyrobów następuje zmniejszenie pracochłonności jednostkowej o 20%. Przy tym założeniu wykładnik potęgowy $a=0,322$, a wyliczona wartość współczynnika m wyniosła 0,0649. Pracochłonność całkowita jest sumą pracochłonności jednostkowej kolejnych w partii n wyrobów:

$$Q_n = \sum_1^n t_{ni} = t_1 \left[m + (1 - m) \cdot \sum_1^n \frac{1}{n^a} \right] \quad (24)$$

gdzie: Q_n — pracochłonność całkowita partii n wyrobów.

Wyliczona przy pomocy wzoru (24) teoretyczna pracochłonność całkowita różniła się od empirycznej o 18,83%. Uzyskane wyniki wskazują, że w odniesieniu do badanej produkcji metoda J. R. de Jonga jest mało precyzyjna. Ponadto, należy zauważyć dużą pracochłonność wyliczeń, i stąd wydaje się, że metoda ta może znaleźć praktyczne zastosowanie głównie przy produkcji jednostkowej wyrobów.

РЕЗЮМЕ

В Польше метод Райта (Т. Р. Wright'a) был проверен в производстве сложных в конструкционном и технологическом отношении изделий. С целью получения точных результатов был разработан некоторый способ применения этого метода, проверенный на примере многих явлений, связанных с серийным производством.

Настоящая работа является продолжением исследований, начатых в производстве подшипников. Полученные результаты подтверждают большую точность метода и его пригодность в диагностическом анализе и анализе решения. Кроме того, была предпринята также попытка применения методов М. Р. Guibert'a и J. R. Jong'a. Результаты этих исследований представлены в табл. I. На их основе можно сделать вывод, что первый метод гарантирует большую точность на начальном этапе и дает худшие результаты в уже налаженном производстве.

Таким образом, авторы считают, что на начальном этапе при пуске производства новых изделий должны найти применение оба метода.

Результаты применения метода J. R. Jong'a в данном случае свидетельствуют о его невысокой точности.

S U M M A R Y

W. T. Wright's method was tested in Polish industry as exemplified by production characterized by a relatively high constructional and technological complexity. As a result of the investigations, a way of applying this method to achieve precise data was proposed and verified as exemplified by many phenomena connected with serial production.

The present paper is a continuation of the investigations carried out as exemplified by ball bearings production. The results obtained confirm the high precision of this method and its usefulness in diagnostic and decision-making analysis. An attempt was also made to employ the methods by M. P. Guibert and I. R. Jong. The results obtained are set up in Table 1. On their basis one may conclude that the former method ensures better precision in the initial period and poorer results for stabilized production. Thus, it seems that the planning calculus for the launching of the production of new goods should employ both methods.

Results obtained by the application of I. R. Jong's method show that it is characterized by poor precision in this particular case.