

Mieczysław Botwin

NIEKTÓRE PROBLEMY EKONOMETRYCZNE
MECHANIZACJI PRAC LEŚNYCHНЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМЕТРИИ В СВЯЗИ С МЕХАНИЗАЦИЕЙ
РАБОТ В ЛЕСУSOME PROBLEMS OF ECONOMETRICS CONNECTED WITH MECHANIZATION
OF FOREST OPERATIONS

ROZWAŻANIA WSTĘPNE

Od dłuższego już czasu poważnym zagadnieniem polskiego gospodarstwa leśnego jest dalszy rozwój mechanizacji prac leśnych. Nie ulega przy tym wątpliwości, że wprowadzenie mechanizacji jest słuszne tylko wówczas, gdy jej wyniki dają lepsze efekty ekonomiczne niż praca niezmehanizowana, przy równoczesnym zmniejszeniu intensyfikacji pracy robotników wykonujących te czynności produkcyjne. Efekty mechanizacji zależą jednak od bardzo wielu różnorodnych czynników technicznych i ekonomicznych i dlatego mechanizacja pracy nie może być wprowadzana na ślepo, lecz musi być poprzedzona odpowiednimi badaniami, które by te czynniki uwzględniały. Badania te umożliwiają z jednej strony dość precyzyjne obliczenie efektów, które uzyskamy z wprowadzenia mechanizacji, z drugiej zaś określenie naszych wymagań w stosunku do niezbędnych do tego celu maszyn.

Mechanizacja jakiegoś procesu sprowadza się często do zmechanizowania pewnej jego operacji. Jak jednak wiadomo, znaczny wzrost wydajności pewnej operacji nie prowadzi do proporcjonalnego wzrostu wydajności całego procesu. Zanalizujmy to zagadnienie z teoretycznego punktu widzenia.

Na nieproporcjonalność wzrostu wydajności w stosunku do wzrostu kosztów nakładów lub w stosunku do wzrostu mocy urządzenia zwraca się szczególną uwagę przy projektowaniu urządzeń automatycznych. W pracach naukowych z tej dziedziny zwrócono uwagę na prawo wydajności roboczej maszyny. W zastosowaniu do potrzeb gospodarki leśnej prawo to możemy wyprowadzić z następujących założeń. Wiadomo, że procesy robocze ścińki, wyrzynki, zrywki itd. składają się z szeregu syste-

matycznie powtarzanych operacji. Szereg operacji niezbędnych do wykonania pewnego procesu roboczego składa się na cykl roboczy, który charakteryzowany jest liczbą operacji, kolejnością ich wykonania oraz czasem ich trwania.

Jeżeli określimy czas trwania operacji, którą mechanizujemy, przez t_m , a czas trwania pozostałych pomocniczych operacji przez Σt_p , to czas trwania cyklu T_c możemy określić jako sumę tych dwu składników.

$$T_c = t_m + \Sigma t_p. \quad (1)$$

Wydajność W w określonym czasie pracy T z uwzględnieniem współczynnika wykorzystania czasu pracy ζ obliczyć można według zasadniczego wzoru

$$W = \frac{T\zeta}{t_m + \Sigma t_p}. \quad (2)$$

Wzór ten jest matematycznym wyrazem prawa wydajności pracy maszyny.

Analizując wzór 2 można wyciągnąć szereg wniosków.

1. Na wydajność pracy wpływa czas trwania cyklu i wykorzystanie czasu pracy.

2. W związku z mechanizacją, a więc w związku ze wzrostem wydajności pracy w danej operacji zmniejsza się czas t_m . Granicę wzrostu wydajności W przy pewnej technologii ($\Sigma t_p = \text{const}$, $\zeta = \text{const}$), kiedy $t_m \rightarrow 0$, możemy określić jako

$$W = \lim_{t_m \rightarrow 0} \frac{T\zeta}{t_m + \Sigma t_p} \rightarrow \frac{T\zeta}{\Sigma t_p}. \quad (3)$$

3. Przy racjonalnej mechanizacji i równoczesnej zmianie technologii, kiedy $t_m \rightarrow 0$ i $\Sigma t_p \rightarrow 0$, teoretycznie rzecz biorąc wydajność pracy nie ma granicy, gdyż

$$W = \lim_{t_m \rightarrow 0, \Sigma t_p \rightarrow 0} \frac{T\zeta}{t_m + \Sigma t_p} \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Wzrost wydajności pracy przy określonej technologii przedstawiono graficznie na rys. 1. Wykres ten został sporządzony dla ciągnika pracującego przy zrywce. Przy obliczeniach przyjęto:

prędkość ruchu z ciężarem v_c — 3 km/godz.,

prędkość ruchu jałowego v_j — 9 km/godz.,

prędkość ruchu na pierwszym biegu v_o — 2 km/godz.,

czas załadunku i rozładunku 1 m³ drewna — 5 min.,

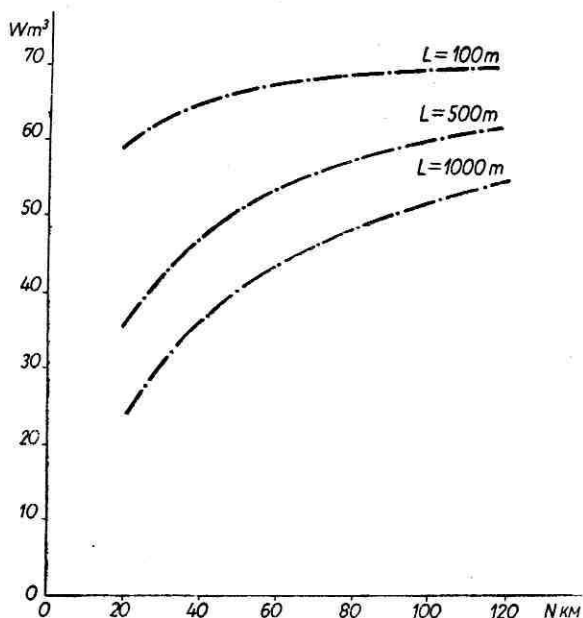
współczynnik sprawności mechanicznej przekładni η — 0,7,

współczynnik wykorzystania czasu maszynowego ζ — 0,75,

opór jednostkowy ciągnika w_1 — 250 kG/tonę,

opór jednostkowy ładunku w_2 — 700 kG/tonę,

pochylenie terenu i — 0 ‰,
 ciężar właściwy drewna γ — 0,7,
 współczynnik wykorzystania mocy α — 0,9.



Rys. 1. Zależność wzrostu wydajności ciągnika W przy zrywce od mocy ciągnika N przy różnych odległościach zrywki L

Obliczenia przeprowadzono według wzorów 8, 10, 15 i 18. Jeżeli do wzorów podstawić przyjęte wielkości, otrzyma się następujące wyniki:

$$Q = 0,1285 N \text{ m}^3,$$

$$v_s = \frac{2 \cdot 3 \cdot 9}{3 + 9} = 4,5 \text{ km/godz.} = 75 \text{ m/min.},$$

$$W = \frac{480 \cdot 0,75}{\frac{2L}{75} + 5 \cdot 0,1285 N} \cdot 0,1285 N = \frac{46,4}{\frac{2L}{75} + 0,645 N} N.$$

Na podstawie obliczeń zestawiono tab. 1.

Znajomość prawa wydajności pracy maszyn powinna być wykorzystywana przy analizie ekonomicznej urządzeń. Duże znaczenie ma prawo wydajności pracy maszyny przy projektowaniu nowych maszyn i urządzeń.

Projektując proces wytwórczy, nowe urządzenie lub mechanizm zawsze powinno się uzgodnić elementy techniczne z ekonomicznymi. Roz-

Tabela 1

Moc ciągnika zryw- kowego N w KM	Wydajność ciągnika przy zrywce w m ² dla różnych odległości zrywki L w m									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000
20	59,0	51,0	44,5	39,4	35,4	32,2	29,4	27,2	25,2	23,2
30	63,0	56,5	50,9	46,3	42,4	39,4	36,7	34,2	32,1	30,7
40	65,0	59,0	55,0	50,6	47,0	44,4	41,8	39,4	37,2	35,8
50	66,5	62,0	57,7	54,2	50,8	48,1	45,7	43,4	41,3	39,9
60	67,2	63,1	59,6	56,4	53,5	51,0	48,7	46,4	44,4	43,0
70	67,6	64,2	61,0	58,0	55,5	53,1	51,0	48,8	47,0	45,8
80	68,4	65,2	62,5	59,6	57,2	55,0	52,9	51,0	49,1	47,8
90	68,7	66,0	63,2	61,1	58,5	56,3	54,5	52,6	51,0	49,7
100	69,0	66,3	64,0	61,7	59,5	57,5	55,9	53,5	52,5	50,7
110	69,5	67,3	65,0	62,7	60,8	58,7	57,2	55,5	54,0	52,7
120	69,6	67,4	65,2	63,2	61,4	59,7	59,0	57,5	56,0	53,0

wiażując zagadnienie z punktu widzenia technicznego należy stwierdzić, czy projektowane urządzenie odpowiada współczesnemu poziomowi techniki; bierze się przy tym pod uwagę: prędkość ruchu w danej operacji, lekkość i prostotę obsługi, zapotrzebowanie mocy, zużycie materiałów konstrukcyjnych, wytrzymałość mechaniczną itd. Wszystkie te wskaźniki wykazują lub mogą wykazać, czy dane urządzenie wykonane jest zgodnie z potrzebami i nie ustępuje analogicznym urządzeniom w skali światowej. Taka techniczna charakterystyka nie jest jednak dostateczna. Bardziej precyzyjnie określa urządzenie lub maszynę charakterystyka techniczno-ekonomiczna. W danym wypadku określa się również cenę danej maszyny, wydajność pracy itd. Charakterystyka techniczno-ekonomiczna wykazuje, czy dane urządzenie lub maszyna odpowiada wymaganiom nie tylko z punktu widzenia techniki, ale też z punktu widzenia ekonomiki.

To samo urządzenie lub maszyna znajduje zastosowanie w różnych warunkach pracy, a nawet w różnych dziedzinach przemysłu. W związku z tym należy ustalić nie tylko, jak maszyna pracuje, ale także w jakich warunkach pracuje. Odpowiedź na wymienione pytania daje charakterystyka techniczno-ekonomiczna procesu, którą w odróżnieniu od analogicznej charakterystyki maszyny można by nazwać charakterystyką technologiczno-ekonomiczną.

Wybór typu maszyny dla określonego procesu, ustalenie granicy efektywności określonej technologii, określenie parametrów projektowanej maszyny — są to zagadnienia z jednej strony nadzwyczaj ważne, a z drugiej — trudne do rozwiązania. Trudność polega na tym, że w technice i w życiu codziennym spotykamy się z całym szeregiem czynników, które wpływają na dane zjawisko w przeciwnych kierunkach.

Analiza ekonomiczna procesu produkcyjnego nie jest rzeczą nową i istnieje prawdopodobnie tak długo, jak długo istnieje sam proces pro-

dukcyjny. Analiza ekonomiczna jest zazwyczaj prowadzona za pomocą logicznego rozumowania kończącego się określonymi wnioskami wytyczającymi kierunek rozwoju procesu produkcyjnego.

Wskaźniki uzyskane na podstawie analizy ekonomicznej mogą być tylko w pewnym przybliżeniu zastosowane przy projektowaniu nowego procesu technologicznego lub nowej obrabiarki, gdyż były one uzyskane na podstawie innego procesu lub innej obrabiarki.

Przy rozwiązywaniu złożonych zagadnień ekonomicznych nie zawsze można ograniczyć się do logicznego rozumowania. Bardzo często, aby otrzymać konkretną odpowiedź, trzeba zastosować metody analizy matematycznej.

Jako jeden z pierwszych zastosował analizę matematyczną do badań zjawisk ekonomicznych świetny matematyk Bernoulli (1700—1782). Niektóre z wniosków sformułowanych na podstawie analizy matematyczno-ekonomicznej są nawet uznane za prawa. Do nich zaliczyć można prawo malejącego dochodu z ziemi, sięgające jeszcze czasów Turgota (1727—1781). W chwili obecnej można już mówić o nowej dyscyplinie naukowej — ekonometrii, która powstała jako rezultat stosowania analizy matematycznej albo statystycznej do badania zagadnień ekonomicznych.

Początki zastosowania metod ekonometrycznych wyprzedziły powstanie ekonometrii jako wyodrębnionej dyscypliny naukowej. Powstała ona mianowicie w latach dwudziestych wieku XX. Trzeba jednak zaznaczyć, że cały szereg prac z tego zakresu badań zostało opublikowanych bądź jako prace ekonomiczne, bądź techniczne.

Ekonometria jest obecnie w Europie zachodniej nauką szeroko stosowaną. Powstała ona na gruncie ekonomiki burżuazyjnej, przy umiejętnym jej stosowaniu powinna jednak przynieść korzyść ekonomice socjalistycznej. Tylko nieumiejętne stosowanie lub błędna interpretacja badań ekonometrycznych, jak to na przykład zachodzi z prawem malejącego dochodu z ziemi, mogą być szkodliwe.

Istnieją różne określenia ekonometrii jako przedmiotu oraz różne określenia jej celów i zadań jako nauki. Autor uważa, że analityczne ustalanie optymalnych parametrów ekonomicznych urządzeń i procesów lub też granic ekonomicznej efektywności stosowania tychże urządzeń i procesów można zaliczyć do zagadnień ekonometrycznych.

W krajowej literaturze z zakresu leśnictwa nie ma opublikowanych żadnych prac z zakresu badań ekonometrycznych. Opracowania tego rodzaju nie są również zbyt częste w zagranicznej literaturze fachowej z tego zakresu. Znane autorowi prace, w których jest zastosowana metoda analityczna przy określeniu wskaźników ekonomicznych, są przytoczone w spisie literatury.

Stosując analityczne metody określania minimum funkcjonalnych równań zależności ekonomicznych autor rozwiązał szereg zagadnień waż-

nych dla rozwoju mechanizacji gospodarstwa leśnego, niektóre zaś z nich uczynił przedmiotem niniejszej pracy.

OBLICZANIE OPTYMALNEJ MOCY CIĄGNIKA ZRYWKOWEGO

Rozpatrzmy zagadnienie wyboru mocy silnika ciągnika używanego przy zrywce. Wiadomo, że wydajność ciągnika zależy m. in. od mocy silnika. Bliższa analiza wykazuje jednak, że wzrost wydajności nie idzie w parze ze zniżką kosztów przewozu jednostki ładunku, co jest, czy powinno być, celem mechanizacji każdego procesu. Stąd wniosek, że trzeba wybrać taką moc silnika dla danych warunków, przy której koszt przewożenia jednostki ładunku jest najmniejszy.

Zależność między mocą ciągnika a wielkością ładunku, który może być przewożony przez ciągnik, wyraża się następującymi wzorami:

$$F = Q(w_2 \pm i) + G(w_1 \pm i), \quad (5)$$

$$Q_1 = \frac{F - G(w_1 \pm i)}{w_2 \pm i} \cdot \frac{a}{\gamma}, \quad (6)$$

$$F = \frac{270 N \eta}{v_o}, \quad (7)$$

$$Q_1 = \frac{\frac{270 N \eta}{v_o} - G(w_1 \pm i)}{w_2 \pm i} \cdot \frac{a}{\gamma} \quad (8)$$

gdzie

- Q_1 — wielkość ładunku w m^3 ,
- F — siła uciągu w kG,
- G — ciężar ciągnika w tonach,
- Q — wielkość ładunku w tonach,
- γ — ciężar właściwy drewna w t/m^3 ,
- w_1 — opór jednostkowy ciągnika w kG/tonę,
- w_2 — opór jednostkowy ładunku w kG/tonę,
- i — pochylenie terenu w ‰,
- η — współczynnik sprawności ciągnika,
- v_o — szybkość ruchu ciągnika w km/godz.,
- N — moc silnika w KM,
- a — współczynnik wykorzystania mocy.

Dla konkretnych warunków wielkości we wzorze 8, z wyjątkiem mocy ciągnika N i proporcjonalnego do niej ciężaru ciągnika G , można przyjąć za stałe. Oznaczając

$$A = \frac{270 \eta a}{v_o},$$

$$B = (w_1 \pm i) a,$$

$$C = (w_2 \pm i) \gamma,$$

możemy napisać, że

$$Q_1 = \frac{AN - BG}{C}.$$

Pomiędzy ciężarem pewnych konstrukcji współczesnych ciągników i ich mocą istnieje również zależność proporcjonalna. Na 1 KM mocy przypada od 80 do 120 kG ciężaru ciągnika (w odniesieniu do konstrukcji ciągników pracujących w leśnictwie). Oznaczając współczynnik proporcjonalności pomiędzy mocą i ciężarem przez k , a więc $G = kN$, można napisać

$$Q_1 = \frac{AN - BG}{C} = \frac{A - Bk}{C} \cdot N. \quad (9)$$

Z wzoru 9 wynika, że objętość ładunku jest zależna od mocy silnika ciągnika i zależność ta jest prostoliniowa. Przekształcając wzór 9 i ozna-

czając $k_o = \frac{A - Bk}{C}$, możemy napisać

$$Q_1 = k_o \cdot N. \quad (10)$$

Wydajność ciągnika przy zrywce może być określona według wzoru

$$W = \frac{T \cdot \zeta}{T_c} \cdot Q = \frac{480 \cdot \zeta}{T_c} \cdot Q. \quad (11)$$

Czas jednego cyklu T przy zrywce jest sumą czasów: roboczego (t_1), jałowego (t_3), doczepiania i formowania ładunku (t_2) i odczepiania ładunku (t_4)

$$T_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \quad (12)$$

Jeżeli przyjmiemy, że czas $t_2 + t_4$ określa się na podstawie chronometrażu, a czas ruchu jako iloraz odległości zrywki przez szybkość z ładunkiem v_c i szybkość jałową v_j , to możemy napisać

$$T_c = \frac{L}{v_c} + t_2 + \frac{L}{v_j} + t_4. \quad (13)$$

Przy zrywce odległość ruchu z ładunkiem jest równa odległości powrotnej. Zamiast szybkości z ładunkiem i szybkości jałowej wprowadzimy pojęcie szybkości średniej. Czas przebycia 1 km w obu kierunkach może być określony według następującego wzoru

$$T_c = \frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_c} = \frac{2}{v_s}, \quad (14)$$

skąd

$$v_s = \frac{2v_c v_j}{v_c + v_j} \quad (15)$$

Na podstawie wzoru 15, wzór 13 można napisać nieco inaczej

$$T_c = \frac{2L}{v_s} + t_2 + t_4 \quad (16)$$

Można przyjąć, że czas załadunku i rozładunku przy podobnej technologii jest proporcjonalny do objętości ładunku. Oznaczmy współczynnik proporcjonalności pomiędzy czasem załadunku i rozładunku jako k_3 . A więc jest to średni czas na załadunek i rozładunek 1 m³. Równocześnie na podstawie wzoru 10 wiemy, że objętość ładunku jest proporcjonalna do mocy ciągnika N . Wobec tego nowy współczynnik proporcjonalności k pomiędzy czasem załadunku i rozładunku a mocą ciągnika N jest iloczynem k_3 przez k_o . Możemy napisać

$$t_2 + t_4 = k_3 Q_1 = k_3 k_o N = k_4 N \quad (17)$$

Trzeba zaznaczyć, że szybkość ruchu ciągnika w warunkach leśnych ograniczona jest warunkami terenowymi i praktycznie w niewielkim stopniu zależy od mocy silnika. Uwzględniając wzory 8, 16 i 17, można określić wydajność ciągnika przy zrywce według następującego wzoru

$$W = \frac{480 \cdot \xi}{\frac{2L}{v_s} + k_4 N} \cdot k_o N \quad (18)$$

Analizując wzór 18 możemy stwierdzić, że wydajność ciągnika przy zrywce zależy od mocy silnika, odległości zrywki, współczynnika wykorzystania czasu i od technologii (poprzez współczynnik k_4). Trzeba jednak uwzględnić, że współczynniki k_4 i k_o zależą od warunków terenowych, klimatycznych, sprawności technicznej ciągnika i kwalifikacji robotników.

Określmy koszt dniówki ciągnika wraz z obsługą C_o . Opłata obsługi, a częściowo i naprawy bieżące zależą od mocy ciągnika. Obciążenie amortyzacyjne, a przede wszystkim koszty paliwa i smarów są proporcjonalne do mocy ciągnika. Założmy z pewnym przybliżeniem, że zależność ta jest prostoliniowa

$$C_o = Z + k_5 N \quad (19)$$

W celu sprawdzenia przypuszczenia wyrażonego wzorem 19 autor opracował zależność pomiędzy kosztem dniówki maszynowej a mocą ciągnika. Koszty dniówki maszynowej przyjęto według obowiązującego do 1956 roku „Cennika pracy sprzętu” (Cennik robót budowlanych i in-

stalacyjnych na 1950 r., Cz. 1, § 12). Zależność ta może być wyrażona wzorem

$$C_o = 11,1 + 7,9 N \quad (20)$$

Wzór jest dostatecznie dokładny, co potwierdza rubryka 5 tabeli 2. Wzór 20 potwierdza przypuszczenie wyrażone wzorem 19.

Tabela 2

Moc silnika w KM	Koszt według cennika w zł		Koszt według wzoru w zł	Odchylenie w procentach
	maszyno- godziny	maszyno- dniówki		
40	41,60	332,8	327,1	1,72
60	59,80	478,4	485,1	1,40
80	80,50	644,4	643,1	0,14

Na podstawie wzorów 18 i 19 można określić koszt zrywki 1 m³.

$$C_1 = \frac{C_o}{W} = \frac{Z + k_5 N}{480 \zeta k_o N} \left(\frac{2L}{v_s} + k_4 N \right) \quad (21)$$

Aby określić minimalny koszt zrywki 1 m³ drewna ciągnikiem w zależności od mocy ciągnika, zróżniczkujemy równanie 21.

$$\frac{dC_1}{dN} = - \frac{2ZL}{480 \zeta k_o N^2 v_s} + \frac{k_5 k_4}{480 \zeta k_o} \quad (22)$$

Wielkość C będzie minimalna, gdy $\frac{dC_1}{dN} = 0$, a więc gdy

$$\frac{2ZL}{480 \zeta k_o N^2 v_s} = \frac{k_5 k_4}{480 \zeta k_o},$$

skąd

$$N = \sqrt{\frac{2ZL}{v_s k_5 k_4}} \quad (23)$$

Jeżeli przyjąć na podstawie wzoru 17, że $k_4 = k_3 \cdot k_o$, to wzór 23 będzie miał nieco inny wygląd, a mianowicie

$$N = \sqrt{\frac{2ZL}{v_s k_5 k_o k_3}} \quad (24)$$

Jeżeli oznaczymy, że $C_4 = \sqrt{\frac{2Z}{v_s k_o k_3}}$, co jest dopuszczalne, gdyż średnia szybkość v w warunkach leśnych jest wielkością mało zmienną, to wzór 24 można jeszcze uprościć

$$N = C_4 \sqrt{\frac{L}{k_5}} \quad (25)$$

Analizując wzór 25 można stwierdzić, że w określonych warunkach w miarę zwiększania się odległości zrywki trzeba używać ciągnika o większej mocy. Jeżeli przy określonej odległości zrywki tracimy różną ilość czasu na załadunek i wyładunek 1 m³ drewna, to silnika o większej mocy trzeba używać tam, gdzie suma tych czasów jest mniejsza. Wniosek ten jest słuszny, jeżeli wszystkie inne warunki są niezmiennie. Osobnym zagadnieniem jest określenie współczynnika C_4 . Aby określić jego wielkość, trzeba przeprowadzić obszernie badania ekonomiczne. Wzór 25 wytycza kierunek badaniom ekonomicznym, których celem jest określenie optymalnej mocy ciągnika zrywkowego. Trzeba też podkreślić, że wzór 25 może być zastosowany do określenia mocy silnika innych urządzeń transportowych o ruchu przerywanym. Moc optymalna powinna być większa aniżeli moc potrzebna do transportowania ładunku o możliwie minimalnej objętości.

Dla ilustracji rozważań teoretycznych można przytoczyć następujący przykład. Przypuśćmy, że przy zrywce pracuje ciągnik, którego cena nie zależy od mocy silnika. Takie przypuszczenie jest możliwe, gdyż w lasach pracują zarówno ciągniki krajowe, jak i zagraniczne. Określenie zależności między mocą silnika ciągnikowego a jego ceną jest rzeczą nadzwyczaj trudną, szczególnie jeżeli uwzględnić, że na cenę importowanych ciągników wpływa cały szereg przyczyn, które zależą od koniunktury rynku światowego. Warto jednak podkreślić, że firmy produkujące ciągniki o różnych wielkościach mocy silnika, a mało różniące się konstrukcją, podają ich ceny, które zależą od mocy silnika. Na przykład firma Caterpillar podaje następujące ceny produkowanych ciągników serii D:

D-2 ma silnik o mocy 32 KM, waży 3020 kG i kosztuje 3625 dolarów,
D-4 ma silnik o mocy 43 KM, waży 4550 kG i kosztuje 4780 dolarów,
D-6 ma silnik o mocy 65 KM, waży 7580 kG i kosztuje 7605 dolarów,
D-7 ma silnik o mocy 80 KM, waży 11 370 kG i kosztuje 10 385 dolarów,
D-8 ma silnik o mocy 130 KM, waży 16 100 kG i kosztuje 14 150 dolarów.

A więc, jeżeli nawet nie uwzględnimy wpływu wielkości mocy silnika na jego cenę i na wielkość odpisów amortyzacyjnych, to jak pokażą dalsze obliczenia koszt dniówki maszynowej ciągnika, nawet dla tak zniekształconych warunków, zależy od mocy ciągnika. Korzystanie ze wzoru 20 nie byłoby słuszne, gdyż jest on prawdziwy dla określenia kosztu dniówki maszynowej ciągników drogowych, przystosowanych do innych warunków, przy których zazwyczaj ze wzrostem mocy zmienia się równocześnie i konstrukcja, a co za tym idzie i cena samego ciągnika. Załóżmy, że cena ciągnika wynosi 100 000 zł przy 6,5-letnim okresie amortyzacji i 1000 godzinach pracy na rok. Przyjmujemy, że

koszty napraw bieżących i średnich są równe 100% amortyzacji. Koszty materiałów pędnych i smarów obliczono według typowych norm dla silników wysokoprężnych, a więc 220 G/KM godz. Przy obliczeniach przyjęto, że w przeciągu dwóch godzin ciągnik wykorzystuje moc 70%, a koszt smarów stanowi 25% kosztów materiałów pędnych. Cenę kilograma oleju gazowego przyjęto w wysokości 1,50 zł. Ciągnik niezależnie od mocy obsługuje jeden kierowca i trzech robotników, których sumaryczny zarobek dzienny wynosi 154,6 zł.

Przy wymienionych założeniach koszt dniówki maszynowej wyraża się wzorem

$$C = Z + kN = 400,84 + 3,052 N; \quad (26)$$

$$Z = \frac{100\,000}{6\,500} \cdot 2 \cdot 8 + 154,6 = 400,84 \text{ zł};$$

$$k = (6 \cdot 220 + 0,7 \cdot 220 \cdot 2) \cdot 1,25 \cdot 0,00150 = 3,052 \text{ zł}.$$

Na podstawie wzorów 21 i 26, a także odpowiednich rubryk tab. 1, została zestawiona tab. 3. Dane tab. 3 przedstawiono na rys. 2.

Tabela 3

Moc ciągnika w KM	Koszt maszyno-dniówki z obsługą w zł	Koszt zrywki 1 m ³ w zł przy odległościach w m		
		100	500	1 000
20	460,6	7,90	13,10	19,50
30	491,2	7,80	11,60	16,00
40	521,8	8,02	11,10	14,65
50	552,4	8,50	10,85	13,85
60	583,0	8,70	10,90	13,60
70	613,6	9,05	11,05	13,40
80	644,2	9,45	11,25	13,45
90	674,8	9,81	11,50	13,55
100	705,4	10,02	11,85	13,90
110	736,0	10,60	12,10	14,00
120	766,6	11,00	12,50	14,20

Analityczne obliczenie optymalnej mocy ciągnika dla wymienionych warunków ($k_4 = 0,645$; $k_5 = 3,052$; $Z = 400,84$; $v_s = 75$ m/min) przedstawia się następująco

$$N = \sqrt{\frac{2Z}{v_s k_5 k_4}} L = \sqrt{\frac{2 \cdot 400,84}{75 \cdot 3,052 \cdot 0,645}} L.$$

A więc np. przy $L = 100$ m $N = 23,2$ KM; przy $L = 500$ m $N = 52$ KM; a przy $L = 1000$ m $N = 73,4$ KM. Wyniki te są bardzo zbliżone do danych wykresu (rys. 2).

Jeżeli przyjąć koszty dniówki maszynowej według wzoru 20, to przy założeniu: $Z = 11,1$; $k_5 = 7,9$; $v_s = 75$ m/min; $k_4 = 0,645$ otrzymalibyśmy

niona zależność między wielkością mocy silnika obrabiarki a kosztami obróbki. Spróbujmy, podobnie jak w poprzednim wypadku, określić taką moc silnika, przy której koszt pracy będzie minimalny. Trzeba jednak podkreślić, że tylko wtedy możemy zainstalować silnik o optymalnej mocy, kiedy dla danych konkretnych warunków jest ona większa od mocy znamionowej obliczonej według wzoru 26.

Wydajność obrabiarki można określić według wzoru 2

$$W = \frac{480\xi}{t_m + \Sigma t_p} \quad (27)$$

Według tego wzoru wydajność jest określona przez liczbę cykli w okresie pracy. Na jeden cykl składa się czas trwania operacji mechanicznych t_m (piłowanie, frezowanie) i czas przerw i robót pomocniczych (ręcznych) Σt_p .

Rozpatrzmy czas t przy piłowaniu. Wiadomo, że czas piłowania jest proporcjonalny do powierzchni rzazu S i odwrotnie proporcjonalny do wydajności skrawania A w cm^2/sek .

Wydajność skrawania można określić według wzoru

$$A = \frac{75 N \eta}{0,01 kb} \quad (28)$$

skąd

$$t = \frac{S}{A} = \frac{Skb}{75 N \eta} 10^{-2} \quad (29)$$

gdzie

N — moc silnika obrabiarki,

b — szerokość rzazu w cm ,

k — jednostkowa siła skrawania przy piłowaniu w kG/cm^2 ,

A — wydajność skrawania w cm^2/sek ,

S — powierzchnia rzazu w cm^2 ,

t — czas piłowania w sek .

Przypuśćmy, że koszt jednego dnia pracy obrabiarki można wyrazić wzorem

$$C_o = Z_1 + k_7 N. \quad (30)$$

We wzorze tym Z wyraża koszty stałe i niezależne od mocy silnika obrabiarki, k_7 zaś koszt przypadający na jednostkę mocy znamionowej silnika N .

Koszt jednostki przerobu C_1 możemy określić według wzoru

$$C_1 = \frac{Z_1 + k_7 N}{480 \xi} \left(\frac{Skb}{75 N \eta} 10^{-2} + \Sigma t_p \right). \quad (31)$$

Po zróżnicowaniu i rozwiązaniu równania przy $\frac{dC_1}{dN} = 0$, otrzymujemy wielkość mocy, przy której koszty przerobu będą minimalne.

$$N = \sqrt{\frac{Z_1 Skb}{75\eta k_7 \Sigma t_p}}. \quad (32)$$

Z wzoru 32 widzimy, że wzrost szerokości rzazu i twardości drewna powoduje konieczność zwiększenia mocy, a zwiększenie czasu przerw i robót ręcznych, jak również kosztów utrzymania k_7 jednostki mocy znamionowej silnika działają w kierunku pomniejszenia mocy silnika.

Obliczenia tego typu posiadają duże znaczenie przy określaniu mocy ręcznych narzędzi o napędzie mechanicznym, gdyż nieuzasadniony wybór mocy silnika dla narzędzi ręcznych przyczynia się nie tylko do zwiększenia kosztów obsługi, ale i do zwiększenia ciężaru, co jest zjawiskiem niepożądanym.

OBLICZANIE OPTYMALNEJ WIELKOŚCI URZĄDZEŃ TERENOWYCH

Do bardzo ciekawych i ważnych zagadnień należy określenie optymalnych wielkości urządzeń terenowych, a więc optymalnej gęstości sieci dróg leśnych, optymalnej odległości między podporami kolejek linowych, optymalnych długości przęseł mostów, optymalnych rozmiarów składnic itd.

W 1950 roku autor dokonał opracowania dla konkretnych warunków budowy kolejki linowej optymalnych odległości między podporami przy określonej konstrukcji i typie kolejki.

Przy budowie kolejki linowej w miarę zwiększenia liczby podpór można zmniejszyć ich wysokość, a tym samym zmniejszyć cenę jednej podpory. Optymalna będzie taka odległość, przy której cena budowy 1 m drogi będzie najmniejsza, w związku z tym że koszty eksploatacji w niewielkim stopniu zależą od odległości między podporami. Jako końcowy rezultat rozważań został ustalony wzór

$$l = A \sqrt{\frac{H}{g}} = AH^{0,5} g^{-0,5}, \quad (33)$$

gdzie

A — współczynnik zależny od kosztów podpór przy różnych wysokościach i przy określonym typie konstrukcji,

l — średnia odległość między podporami w m,

H — pozioma składowa napięcia liny,

g — zastępcze obciążenie liny.

Nadzwyczaj ważne jest określenie optymalnego zagęszczenia sieci dróg leśnych, a przede wszystkim dróg zrębowych. Jest to szczególnie

istotne dla warunków nizinnych, dla których można zrealizować najrozsądniejsze zagęszczenie sieci dróg leśnych.

Na podstawie rozwiązań równań funkcjonalnych zależności ekonomicznych autor otrzymał następujące równanie optymalnej odległości między drogami wywozowymi, dające podstawę do zaprojektowania optymalnej sieci dróg zrębowych dla warunków nizinnych

$$a = \sqrt[3]{A \frac{Z_0 Q_0 v_s}{p \beta C_0}}, \quad (34)$$

gdzie

A — współczynnik zależny od sposobu zrywki i stopnia wykorzystania czasu pracy przy zrywce,

Z_0 — roczny koszt utrzymania i amortyzacji 1 m drogi zrębowej,

Q_0 — objętość ładunku przewożonego jednorazowo przez ciągnik zrywkowy,

v_s — szybkość ciągnika zrywkowego,

β — współczynnik zależny i charakteryzujący stosunek średniej odległości zrywki do odległości między drogami zrębowymi,

p — przeciętne roczne pozyskanie masy drewna z 1 ha,

C_0 — koszt maszynodniówki ciągnika zrywkowego.

Na podstawie rozwiązań równań ekonometrycznych można określać również wymiary składowicy, przy których koszty robót zależne od wymiarów geometrycznych będą minimalne.

Rozpatrzmy elementarny przykład. Określmy optymalne rozmiary składowicy drewna. Wiadomo, że na składowicy jednocześnie magazynuje się Q m³ drewna. Dla określenia optymalnych wymiarów powierzchni, na której może być umieszczona masa Q m³, musimy znać wysokość mygieł oraz szerokość i długość składowicy, co jest nie do przyjęcia, gdyż te właśnie wymiary powinniśmy określić. Można też określić ogólny rozmiar powierzchni poprzez współczynnik wyrażający ilość m³ drewna na 1 m² powierzchni składowicy lub korzystając ze wzoru wyprowadzonego przez Leszkiewicza (4)

$$\Omega = \frac{Q(L+r)}{Hk_8k_7L}. \quad (35)$$

gdzie

Ω — powierzchnia składowicy w m²,

Q — ilość drewna jednocześnie magazynowana na składowicy w m³,

L — długość składowanych sortymentów w m,

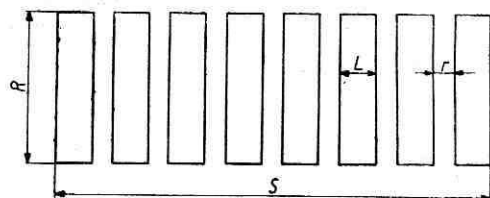
H — wysokość mygieł w m,

k_8 — współczynnik wypełnienia drewnem mygły,

r — szerokość przejścia pomiędzy mygłami w m,

k_7 — współczynnik, który uwzględnia powierzchnie dodatkowych urządzeń gospodarczych na terenie składowicy.

Wzór 35 został wyprowadzony z dostateczną dokładnością dla praktyki. Za pomocą tego wzoru możemy obliczyć potrzebną powierzchnię składowiska, nie określając poprzednio jej długości lub szerokości.



Rys. 3. Schemat do obliczenia optymalnych wymiarów najprostszej składowiska spedycyjnej

Określimy optymalne wymiary składowiska, na której drewno za pomocą wagonika o napędzie ręcznym jest rozwożone wzdłuż mygieł i myglowane ręcznie. Przypuśćmy, że koszt przewozu 1 m³ drewna wagonikiem na odległość 1 m równa się k_1 zł, koszt ręcznego myglowania 1 m³ na odległość 1 m wynosi k_2 zł,

amortyzacja, utrzymanie i naprawa 1 m drogi — k_3 zł, a wielkość A charakteryzuje koszty niezależne od geometrycznych wymiarów składowiska.

Przy takich założeniach koszt transportu i myglowania na składowisku może być określony wzorem

$$C_1 = A + k_1 S + k_2 R + k_3 S. \quad (36)$$

Na podstawie rys. 3

$$S = nL + (n-1)r \approx n(L+r) = \frac{\Omega}{R}.$$

Zastępując S przez wyraz $\frac{\Omega}{R}$ otrzymujemy

$$C = A + k \frac{\Omega}{R} + kR + k \frac{\Omega}{R}.$$

Różniczkując i rozwiązując równanie przy $\frac{dC}{dR} = 0$, otrzymujemy wymiary składowiska, przy których koszt składowania drewna będzie minimalny

$$R = \sqrt{\frac{k_1 + k_3}{k_2} \Omega} = \sqrt{\frac{k_1 + k_3}{k_2} Q \frac{L+r}{Hk_8k_7L}}. \quad (37)$$

Analizując wzór 37 możemy stwierdzić, że w miarę wzrostu kosztów przewozu wzdłuż składowiska i kosztów amortyzacyjnych, a przy stałym k_2 , zwiększa się szerokość składowiska. Na odwrót, wzrost kosztów ręcznego myglowania wpływa na zwiększenie długości składowiska. Trzeba zaznaczyć, że dla różnych typów składowisk równanie będzie miało różną postać.

*
*
*

W praktyce bardzo często trzeba rozwiązywać zagadnienia nieco odmienne od przytoczonych, na przykład określić przy jakiej technologii otrzymamy najwyższy efekt ekonomiczny, jaką maszynę powinniśmy zastosować do wykonania tych czy innych operacji, aby osiągnąć obniżenie kosztów własnych.

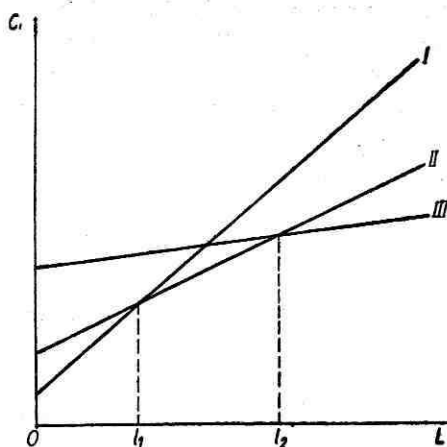
Ogólnie rzecz biorąc, koszty przy określonej technologii możemy przedstawić jako sumę kosztów elementarnych. Część kosztów jest proporcjonalna do liczby dni pracy przy określonej wydajności i określonej płacy. Koszty transportu są proporcjonalne do odległości transportowania i kosztów utrzymania drogi leśnej. Trzecia grupa kosztów jest wielkością stałą i nie zależy od wielkości produkcji lub odległości transportowania. Wprowadzając nową technologię możemy zwiększyć lub zmniejszyć tę czy inną grupę kosztów.

Pewna technologia będzie bardziej odpowiednia, jeżeli suma kosztów przy jej realizacji z uwzględnieniem dodatkowych efektów ekonomicznych będzie mniejsza od odpowiedniej sumy kosztów przy realizacji innej technologii.

Równania tego typu najprościej jest rozwiązywać graficznie na podstawie obliczeń analitycznych, co stosowało szereg autorów. Takie rozwiązanie podaje Popow (8), Matthews (5), Papanek (6) i Volkert (11). Matthews wykresy tego typu nazywa „Break-even chart for cost...”. Stąd prawdopodobnie powstało określenie diagramów przełomu dla graficznych rozwiązań równań ekonomicznych.

Rozpatrzmy dwa przykłady, które pokażą celowość stosowania tej metody przy rozwiązywaniu pewnych zagadnień ekonomicznych. Zagadnienia tego typu mogą być rozwiązywane metodą analityczną.

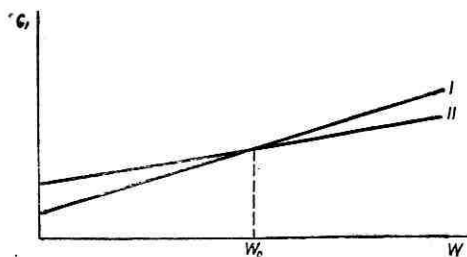
Przykład 1. Porównując koszty zrywki lub transportu różnymi środkami przy różnych odległościach sporządzamy wykresy kosztów przy określonych odległościach. Przypuśćmy, że porównując trzy sposoby zrywki przy zmiennych odległościach otrzymaliśmy trzy krzywe (rys. 4). Analizując wykresy możemy stwierdzić, że przy odległościach od 0 do l_1 najwygodniej stosować transport ilustrowany krzywą I. Przy odległościach od l_1 do l_2 bardziej efektywny jest transport ilustrowany krzy-



Rys. 4. Diagramy przełomu przy określeniu racjonalnego typu transportu w zależności od kosztów transportowania C_1 i odległości L

wą II, a przy odległościach większych aniżeli l_2 najwygodniej stosować transport ilustrowany krzywą III.

Przykład 2. Przy projektowaniu procesu technologicznego bardzo często powstaje zagadnienie, jakimi środkami podawać materiał do obrabiarek, na przykład przenośnikiem czy też wagonikiem o napędzie ręcznym. W danym wypadku miernikiem będzie nie odległość, a przepustowość obrabiarki. Na podstawie analitycznych obliczeń i wykresu (rys. 5)



Rys. 5. Diagram przełomu przy wyborze racjonalnego typu transportu podającego materiał do obrabiarki w zależności od kosztów transportowania C_1 i przepustowości obrabiarki W

możemy stwierdzić, że poczynając od przepustowości W_0 ekonomicznie celowe będzie stosowanie przenośnika (krzywa II).

W analogiczny sposób możemy porównywać różne kompleksy technologiczne i wybierać bardziej celowe pod względem ekonomicznym.

Tematy tu poruszone tylko przykładowo rozpatrują część zagadnień, które powinny być rozwiązane przez konstruktora lub organizatora procesu technologicznego. Życie codzienne, gospodarcza sytuacja kraju

zmusza nas do głębokiej analizy złożonych procesów ekonomicznych. Stosowanie metod analizy matematycznej do rozwiązywania zagadnień ekonomicznych jest rzeczą celową, gdyż pozwala dać konkretną odpowiedź na stawiane pytania. Bez wnikliwych badań, zarówno technicznych, jak i ekonomicznych, trudno należycie kierować rozwojem mechanizacji prac leśnych.

Z Katedry Użytkowania Lasu
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 3 lutego 1958 r.

LITERATURA

1. Buwert W. W.: Suchoputnyj transport lesa. Moskwa 1951.
2. Garuzow W. I.: Potocznoje proizvodstwo w lesozagotowitielnych priedpriijatijach. Goslesbumizdat, 1951.
3. Lange O.: Wstęp do ekonometrii. PWN, 1957.
4. Leszkiewicz A. I.: Organizacija i mechanizacija lesoskładskich rabot. Moskwa 1950.
5. Matthews D. M.: Cost control in the Logging industry. New York 1942.
6. Papanek F.: Ekonomika socialisticskeho lesného hōšpodarstva. Praha 1953.
7. Płaksin M. W.: Osnowy racjonalnego postrojenija proizvodstwiennogo procesa lesozagotowok. Rękopis.
8. Popow D. A.: Suchoputnyj transport lesa. Część I i II. Moskwa 1935.

9. Tinberger J.: Wprowadzenie do ekonometrii. PWN, 1957.

10. Strehlke J. E.: Holzbringung und Wegebau. „Forstarchiv“ 1957; nr 4.

11. Volkert E.: Die Bringungs-technik als gemeinsames Problem von Forst -und Holzwirtschaft. Gottigen 1956.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМЕТРИИ В СВЯЗИ С МЕХАНИЗАЦИЕЙ РАБОТ В ЛЕСУ

Краткое содержание

Работа посвящена вопросам связанным с применением анализа функциональных уравнений для исследования зависимости экономических эффектов (цена единицы продукции) от технических показателей (мощность двигателя, размеры склада и т. д.). Исследования такого рода являются областью эконометрии.

Эконометрия это сравнительно молодая отрасль науки. Она пользуется математическим или статистическим анализом для решения экономических проблем.

В первой части труда рассматривается закон производительности рабочих машин. Далее в труде примерным образом изложены решения ряда вопросов, которые могут возникнуть на практике в связи с механизацией работ в лесу. Эти вопросы можно подразделить на две группы. К первой группе относятся вопросы связанные с определением оптимальных технических параметров машин и оборудования при которых себестоимость единицы продукции будет минимальной. К второй группе относятся вопросы связанные с определением оптимальных параметров местных сооружений (густота транспортной сети, расстояния между опорами канатной дороги, размеры производственных площадок нижних складов и т. д.).

Последняя часть посвящена «диаграммам перелома». Эти диаграммы находят применение для выбора в конкретных условиях соответствующего оборудования или рациональной технологии.

SOME PROBLEMS OF ECONOMETRICS CONNECTED WITH MECHANIZATION OF FOREST OPERATIONS

Summary

The paper deals with problems of application of the functional analysis to disclose the dependence of economic effects (production unit price) upon technical factors (engin power, dump size etc.). This kind of analysis enters into the scope of econometrics.

Econometrics is a relatively new branch of research. It consists in applying mathematical or statistical analysis to solve economic problems.

In Part I of the paper the law of output pertaining to a working machine is viewed. Consequently some problems which may be of use in mechanization of forest operations are solved-exempli modo. These problems may be divided into two groups. To the first are included those problems which are connected with determination of optimum parameters for machines and equipment or facilities conditioning the lowest production cost per production unit.

The second group of problems is inclusive of those related to the determination of optimum parameters for transport and storage facilities in the forest (forest roads density, distance between supports of cableways, dump size etc.,).

The concluding part deals with marginal charts. These charts should be applied when selecting adequate type of equipment, machine of feasible technological process in given precise conditions.

TREŚĆ

Rozważania wstępne	83
Obliczanie optymalnej mocy ciągnika zrywkowego	88
Obliczanie optymalnej mocy silnika obrabiarki	94
Obliczanie optymalnej wielkości urządzeń terenowych	96
Literatura	100
Краткое содержание	101
Summary	101