

Pisarski Wojciech
Zakład Technologii Materiałów
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA METOD OCENY WYDAJNOŚCI ROLNICZYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Streszczenie

W pracy dokonano weryfikacji eksperymentalnej metod oceny wydajności samolotów rolniczych. Weryfikacją objęto metody: Baltina, Kostii oraz Jacksona. Materiał eksperymentalny stanowiły szczegółowe dane dotyczące 30 zabiegów ochrony lasów, które objęły łączną powierzchnię 7 544 ha. Stwierdzono, że wyniki obliczeń wydajności oparte o metodę Kostii są najbardziej zbliżone do wydajności odnotowanych w praktyce. W rozpatrywanych lotach średnia wydajność wg Kostii była o 2,2% mniejsza od wydajności uzyskanej w praktyce. Stwierdzono również, że dokładność metody Kostii nie jest zadowalająca, bowiem w poszczególnych lotach przeciętne odchylenie wydajności obliczonej od rzeczywistej wyniosło $\begin{matrix} +29,1 \\ -32,5 \end{matrix}$ ha/h ($\begin{matrix} +34,3 \\ -15,6 \end{matrix}$ %). Na podstawie analizy przyczyn tych rozbieżności przedstawiono propozycje sposobu zwiększenia dokładności powyższej metody.

Słowa kluczowe: agrolotnictwo, rolnicze statki powietrzne, wydajność samolotów rolniczych

Wykaz oznaczeń

- a – średnia odległość międzypolowa [m]
- b_p – jednostkowe zużycie paliwa [dm^3/s]
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]
- h – wysokość lotu roboczego [m]
- l – średnia długość pola [m]
- l_w – sumaryczna długość pól [m]
- n – ilość pól obrobionych w locie wielopolowym [m]
- r – promień dolotu [m]

A	– współczynnik przeliczeniowy; $A = 10^4 \text{ m}^2/\text{ha}$
A_1	– współczynnik przeliczeniowy; $A = 3600 \text{ s/h}$
B	– szerokość robocza [m]
D	– dawka [kg/ha , dm^3/ha]
F	– powierzchnia pola [ha]
$\overline{F}$	– średnia powierzchnia pól (w zabiegu wielopolowym) [ha]
H	– proceduralna wysokość przelotowa [m]
H_{SL}	– wysokość końca startu i początku lądowania, dla samolotów $H_{SL} = 15 \text{ m}$
H_z	– proceduralna wysokość zakrętu [m]
L_p	– droga przebyta w poziomie od osiągnięcia wysokości h (po niżaniu) do osiągnięcia początku obrabianego obszaru [m]
L_w	– droga przebyta w poziomie podczas wznoszenia [m]
M	– ilość chemikaliów rozprzestrzeniona podczas lotu operacyjnego [kg , dm^3]
R_z	– promień zakrętu [m]
T_c	– czas trwania cyklu operacyjnego [s]
T_d	– czas trwania dolotów [s]
T_e	– czas potrzebny na zapoznanie się z terenem zabiegu [s]
T_k	– czas kołowania [s]
T_l	– czas trwania lotu operacyjnego [s]
T_{LO}	– czas trwania lądowania [s]
T_m	– czas trwania przelotów międzypolowych [s]
T_n	– czas trwania nawrotu [s]
T_{ns}	– sumaryczny czas trwania nawrotów [s]
T_{op}	– czas odpoczynku pilota [s]
T_p	– czas trwania czynności naziemnych [s]
T_p'	– czas trwania załadunku [s]
T_r	– czas roboczy (czas pracy aparatury agrolotniczej) [s]
T_{ST}	– czas trwania startu [s]
T_t	– czas tankowania paliwa [s]
V_{poz}	– objętość nie zużytego paliwa [dm^3]
V_R	– nawigacyjna rezerwa paliwa [dm^3]
V_{zb}	– ilość tankowanego paliwa [dm^3]
V_{HO}	– pozioma składowa prędkości opadania [m/s]
V_{HW}	– pozioma składowa prędkości wznoszenia [m/s]
W_{hl}	– wydajność RSP w locie operacyjnym [ha/h]
W_O	– pionowa składowa prędkości opadania [m/s]
W_W	– pionowa składowa prędkości wznoszenia [m/s]
V_p	– prędkość przelotowa [m/s]
V_r	– prędkość robocza [m/s]
V_z	– prędkość w zakręcie [m/s]

- β – kąt przechyłu w zakręcie [°]
 Δl – odchylenia średnich długości pól obliczonych wg zależności (18) i (19) od wartości rzeczywistych [m]
 $\Delta W_B, \Delta W_K, \Delta W_J$ – odchylenia wydajności obliczonych odpowiednio wg formuł Baltina, Kostii oraz Jacksona od wydajności odnotowanych w praktyce [ha/h]

Wprowadzenie

Chemizacja lotnicza jest jedną z najskuteczniejszych, a dla wysokich drzewostanów jedyną metodą ich ochrony przed szkodnikami, odgrywa również zasadniczą rolę w wykrywaniu i zwalczaniu pożarów lasów. Obecna trudna sytuacja polskiego agrolotnictwa, będąca konsekwencją przemian gospodarczych zapoczątkowanych w naszym kraju w roku 1989, ma swoje podłoże głównie w czynnikach ekonomicznych. Zabiegi agrolotnicze są kosztowne, dlatego też ich zastosowanie powinno być poprzedzone analizą ekonomiczną, oraz planowaniem mającym na celu ograniczenie ponoszonych nakładów.

Podstawowym narzędziem, ułatwiającym planowanie i organizację prac, są matematyczne formuły agrolotniczego cyklu operacyjnego. Umożliwiają one obliczanie czasu trwania lotu (lub cyklu) operacyjnego, czasu obróbki 1 ha powierzchni, oraz wydajności statków powietrznych. W konkretnym przypadku, na podstawie obliczonej wydajności oraz ceny za godzinę lotu (lub cyklu) operacyjnego, można oszacować koszty zabiegu przypadające na 1 ha obrobionej powierzchni. Obecnie znane są cztery formuły agrolotniczego cyklu operacyjnego: Baltina (opracowana jako pierwsza), oraz trzy pozostałe: Kostii, Jacksona oraz Gajewskiego i Sienkiewicza (będące rozwinięciami metody Baltina, a wprowadzonymi dla zwiększenia dokładności obliczeń). Do tej pory nie zostały one zweryfikowane, nie wiadomo więc, która z nich jest najbardziej wiarygodna. Wstępne analizy porównawcze wykazały, że wyniki obliczeń wydajności, opartych o te metody, w niektórych przypadkach mogą różnić się nawet 2-krotnie.

Celem pracy jest weryfikacja w oparciu o materiał eksperymentalny istniejących metod obliczania wydajności rolniczych statków powietrznych. Umożliwi to wskazanie metody najdokładniejszej, oraz (w razie potrzeby) jej modyfikację.

Metody obliczania wydajności samolotów rolniczych Weryfikacja eksperymentalna metod

Rozróżnia się dwa pojęcia:

cykl operacyjny – rozumiany jako zespół czynności wykonywanych na ziemi oraz podczas lotu, związanych z przeprowadzaniem zabiegów,

lot operacyjny - liczony od momentu rozpoczęcia startu do chwili zakończenia lądowania.

Formuła Baltina

Jako pierwszy formułę opracował Baltin [Borodzik 1983, Rowiński 1994], i przedstawił ją w postaci określającej czas trwania agrolotniczego cyklu operacyjnego T_c ,

$$T_c = T_p + T_l = T_p + T_d + T_r + T_{ns} + T_m, \quad s \quad (1)$$

przyjmując, że składa się on z pięciu czynności składowych: czynności naziemnych (przygotowawczych), dolotu do obrabianego obszaru i powrotu na lądowisko, przelotów roboczych, nawrotów oraz przelotów międzypolowych. Wprowadzając 11 parametrów po odpowiednich przekształceniach przedstawił swoje równanie w następującej postaci:

$$T_c = T_p + \frac{2 \cdot r}{V_p} + \frac{M}{D} \cdot \frac{A}{B \cdot V_r} + \frac{M}{D} \cdot \frac{A}{B \cdot l_w} \cdot T_n + \frac{M}{D \cdot F} \cdot \frac{a}{V_p}, \quad s \quad (2)$$

Formuła Kostii

Pragnąc uściślić metodę Baltina Kostia wydzielił z czasu trwania czynności naziemnych czas załadunku RSP oraz czas kołowania, w czasie dolotu do pola i powrotu na lądowisko uwzględnił czas startu, wznoszenia do wysokości przelotowej, zniżania i lądowania. Czas trwania nawrotu rozdzielił na: czas wznoszenia do wysokości zakrętu, czas wykonywania zakrętu, czas schodzenia do wysokości roboczej oraz czas dolotu do obrabianego obszaru. Kostia uwzględniając 21 parametrów przedstawił swoją formułę w postaci [Kostia 1978]:

$$T_c = T_p + T_l = (T_p' + T_k) + T_{ST} + T_{LO} - T_n + \left(\frac{1}{W_w} + \frac{1}{W_o} \right) \cdot \left[H - H_{SL} + \frac{M}{D \cdot F} \cdot (H - h) \right] + \\ + \frac{M \cdot A}{D \cdot B \cdot V_r} + \frac{M \cdot A}{D \cdot B \cdot l_w} \cdot T_n + \frac{2 \cdot r + \left(\frac{M}{D \cdot F} - 1 \right) \cdot a - \left(\frac{V_{HW}}{W_w} + \frac{V_{HO}}{W_o} \right) \cdot \left[H - H_{SL} + \frac{M}{D \cdot F} \cdot (H - h) \right]}{V_p} \quad (3)$$

Czas trwania nawrotu samolotów Kostia proponuje obliczać wg wzoru [Kostia 1966]:

$$T_n = \frac{H_z - h}{W_w} + \frac{2 \cdot \pi \cdot R_z}{V_z} + \frac{L_w + 2 \cdot R_z - L_p}{V_z} + \frac{L_p}{V_r}, \quad s \quad (4)$$

$$L_w = \frac{H_z - h}{W_w} \cdot V_{HW}, \quad s \quad (5)$$

oraz przyjmuje:

$L_p \cong 200 \text{ m}$ dla samolotów większych (np. An-2R),

$L_p \cong 100 \text{ m}$ dla samolotów mniejszych (np. PZL 101 Gawron).

Prędkość w zakręcie proponuje obliczać wg wzoru:

$$V_z = \frac{V_r}{\sqrt{\cos\beta}}, \text{ m/s} \quad (6)$$

natomiast promień zakrętu:

$$R_z = \frac{V_z^2}{g \cdot \tan\beta}, \text{ m} \quad (7)$$

Formuła Jacksona

Autor opracował swoją metodę głównie dla małych dawek. Wyodrębnił człon czasowy związany z tankowaniem paliwa (lub odpoczynkiem pilota), uwzględnił również czas potrzebny pilotowi na zapoznanie się z warunkami terenowymi w miejscu zabiegu. Po sprowadzeniu formuły Jacksona do jednostek i oznaczeń przyjętych dla równań Baltina i Kostii można przedstawić ją w postaci [Quantick 1985]:

$$T_c = \left[T_p + T_{ST} + T_{LO} + \frac{2 \cdot r}{V_p} + \frac{M}{D} \cdot \frac{A}{B \cdot V_r} + \frac{M}{D} \cdot \frac{T_e}{F} + \frac{M}{D} \cdot \frac{A \cdot n}{B \cdot l_w} \cdot T_n + \left(\frac{M \cdot n}{D \cdot F} - 1 \right) \cdot \frac{a}{V_p} \right] \cdot \left[1 + \frac{T_{op} \text{ lub } T_t}{\frac{V_{zb}}{b_p} \left(1 - \frac{V_{poz}}{V_{zb}} - \frac{V_R}{V_{zb}} \right)} \right] \quad (8)$$

Nie omówiono metody Gajewskiego i Sienkiewicza, ponieważ została ona opracowana na potrzeby analiz zabiegów wykonywanych przy użyciu śmigłowca Mi-2R, a zgromadzony materiał eksperymentalny dotyczył prac samolotowych. Tym samym metody tej nie poddano weryfikacji.

Przedstawione formuły określają czas trwania cyklu operacyjnego T_c . Czas trwania lotu operacyjnego T_l można obliczyć pomijając czas trwania czynności naziemnych T_p . Dzieląc wyrażenie $\frac{M}{D}$ określające powierzchnię poddaną obróbce

podczas lotu operacyjnego przez czas trwania lotu T_l otrzymujemy zależność określającą wydajność danego statku powietrznego w locie operacyjnym W_{hl} :

$$W_{hl} = \frac{M \cdot A_l}{D \cdot T_l}, \text{ ha/h} \quad (9)$$

Metodyka

W celu dokonania weryfikacji zebrano materiał eksperymentalny, który stanowiły szczegółowe dane dotyczące 30 zabiegów ochrony lasów. Zabiegi te przeprowadzone zostały na terenie woj. warmińsko-mazurskiego w latach 2003-04, oraz na terenie nadleśnictw Krzyż Wielkopolski i Potrzebowice (woj. poznańskie) w roku 2004 przy użyciu samolotów An-2R oraz M-18 Dromader. Rozpatrywane prace objęły 44 pola zabiegowe o łącznej powierzchni 7 544 ha. Dane uzyskano w postaci raportów lotów, wydruków z aparatury agrolotniczej samolotów wykonujących zabiegi, oraz szczegółowej dokumentacji prowadzonej przez nadleśnictwa, dotyczącej terminów prac, stosowanych środków chemicznych, dawek, geometrii oraz usytuowania pól zabiegowych.

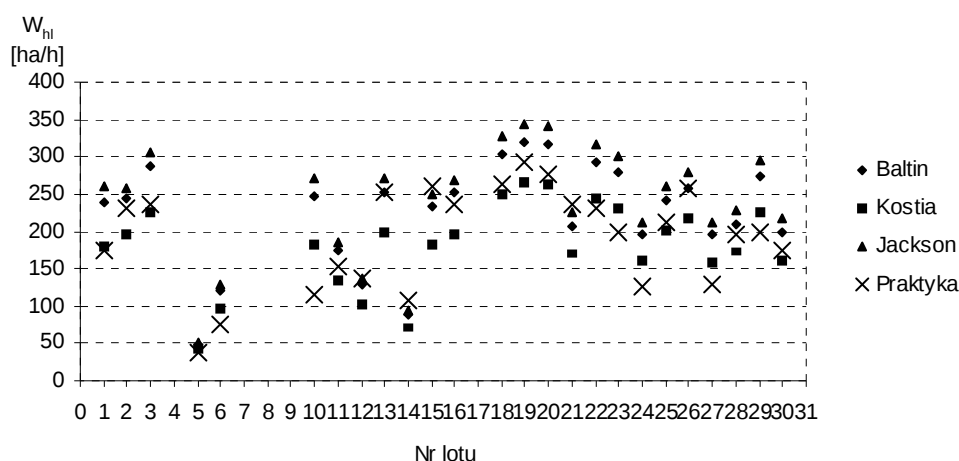
Weryfikacją objęto metody Baltina, Kostii oraz Jacksona. Jako kryterium weryfikacji przyjęto wydajność samolotów w locie operacyjnym. Wyboru takiego dokonano z uwagi na obecnie stosowany sposób rozliczania prac samolotowych, w którym opłata za tego typu usługi naliczana jest na podstawie czasu trwania lotu. Wydajności rzeczywiste dla poszczególnych lotów obliczano dzieląc wielkość obrobionej w danym locie powierzchni przez czas jego trwania:

$$W_{hl} = \frac{F}{T_l}, \text{ ha/h lotu} \quad (10)$$

Wydajności teoretyczne (według rozpatrywanych metod) obliczano przyjmując za wartości parametrów występujących w równaniach (2), (3) oraz (8) zebrane dane eksperymentalne. Wartości parametrów dotyczące charakterystyk techniczno-eksploatacyjnych samolotów przyjmowano na podstawie literatury [Borodzick 1983; Rowiński 1994]. Obliczone w ten sposób wydajności porównano ze sobą, a następnie dokonano analizy przyczyn stwierdzonych rozbieżności.

Wyniki

Wyniki obliczeń wydajności, opartych o analizowane formuły, oraz wartości wydajności odnotowane w praktyce przedstawiono na rys. 1. Najmniejsze rozbieżności pomiędzy wydajnościami teoretycznymi a rzeczywistymi stwierdzono w przypadku metody Kostii, największe w przypadku metody Jacksona.



Rys. 1. Wyniki obliczeń wydajności opartych o formuły Baltina, Kostii i Jacksona oraz wartości wydajności odnotowane w praktyce

Fig. 1. Calculations results of efficiency based on the Baltin's, Kostia's and Jackson's formulas and efficiency obtained in practice

W analizowanych lotach średnia wydajność wg Kostii była o ok. 2,2% mniejsza od średniej wydajności uzyskanej w praktyce (tabela 1). Wydajności obliczone na podstawie metod Baltina oraz Jacksona były zawyżane średnio o ok. 19,7% oraz 25,4%. Na tej podstawie można wstępnie stwierdzić, że do analiz wydajności RSP należy stosować metodę Kostii. Jej dokładność pozostawia jednak wiele do życzenia, bowiem odchylenia wydajności obliczonych od rzeczywistych w poszczególnych lotach są znaczące (zarówno „na plus” jak i „na minus”) (rys. 1). Przeciętne dodatnie i ujemne odchylenia określone wg zależności (11), (12), (13) oraz (14) w analizowanych 30-tu lotach wyniosły $\begin{matrix} +29,1 \\ -32,5 \end{matrix}$ ha/h ($\begin{matrix} +34,3 \\ -15,6 \end{matrix}$ %).

$$\left. \begin{aligned} + \Delta W &= \frac{\sum_{i=1}^n (W_{K_i} - W_i)}{n}, \text{ ha/h} \\ + \Delta W_{\%} &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{W_{K_i} - W_i}{W_i}}{n} \cdot 100\% \end{aligned} \right\} \text{ dla } n \text{ lotów, w których } W_{K_i} > W_i \quad (12)$$

oraz:

$$\left. \begin{aligned} -\Delta W &= \frac{\sum_{i=1}^k (W_i - W_{K_i})}{k}, \text{ ha/h} \\ (13) \\ -\Delta W_{\%} &= \frac{\sum_{i=1}^k \frac{W_i - W_{K_i}}{W_i}}{k} \cdot 100\% \end{aligned} \right\} \text{ dla } k \text{ lotów, w których } W_{K_i} < W_i \quad (14)$$

gdzie:

- $+\Delta W, -\Delta W$ – przeciętne dodatnie i ujemne odchylenia bezwzględne,
- $+\Delta W_{\%}, -\Delta W_{\%}$ – przeciętne dodatnie i ujemne odchylenia względne,
- W_{K_i} – wydajność w i-tym locie obliczona na podstawie metody Kostii [ha/h],
- W_i – wydajność w i-tym locie, obliczona według zależności (10) [ha/h].

Tabela 1. Porównanie średnich wydajności obliczonych dla rozpatrywanych lotów w oparciu o weryfikowane formuły ze średnią wydajnością uzyskaną w praktyce

Table 1. Comparison of mean efficiency calculated on the basis of verified formulas and efficiency obtained in practice

	Baltin	Kostia	Jackson	Praktyka
Średnia wydajność [ha/h]	205,3	167,7	215,0	171,5
Odchylenie od praktyki	19,7%	2,2%	25,4%	-

Dyskusja wyników

Określenie przyczyn rozbieżności pomiędzy wydajnościami teoretycznymi a rzeczywistymi rozpoczęto od analizy poprawności rozpatrywanych formuł. Stwierdzono, że w równaniu Baltina w członie określającym czas trwania przelotów międzypolowych występuje błąd. Według Baltina:

$$T_m = \frac{M}{D \cdot F} \cdot \frac{a}{V_p} \quad (15)$$

Iloraz $\frac{M}{D \cdot F}$ opisujący ilość przelotów międzypolowych daje wyniki zawyżone o 1. Błąd ten poprawili Kostia i Jackson. Według tych autorów:

$$T_m = \left(\frac{M}{D \cdot F} - 1 \right) \cdot \frac{a}{V_p} \quad (16)$$

Na uwagę zasługuje również człon opisujący łączny czas trwania nawrotów w lotach wielopolowych, występujący w równaniach Baltina i Kostii. Według Baltina:

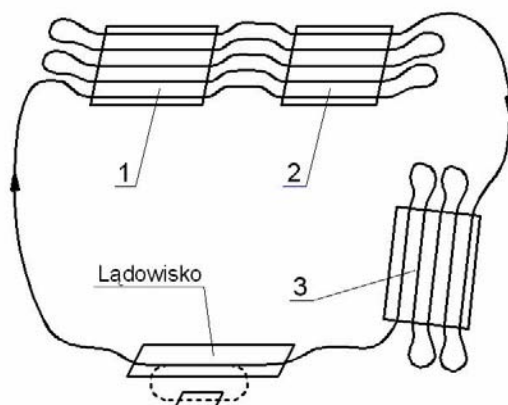
$$T_{ns} = \frac{M}{D} \cdot \frac{A}{B \cdot l_w} \cdot T_n \quad (17)$$

natomiast według Kostii:

$$T_{ns} = \left(\frac{M}{D} \cdot \frac{A}{B \cdot l_w} - 1 \right) \cdot T_n \quad (18)$$

Zależności te są prawidłowe tylko dla lotów wielopolowych, w których pola położone są tak blisko siebie, że obrabiane są jednocześnie w sposób pokazany na rys. 2 (kiedy średni czas przelotu między polami jest krótszy od czasu trwania dwóch nawrotów). W przypadku, gdy średni czas przelotu między polami jest dłuższy od czasu trwania dwóch nawrotów, pola obrabia się oddzielnie (rys. 2). Do takiej sytuacji adekwatny jest człon występujący w równaniu Jacksona:

$$T_{ns} = \left(\frac{M}{D} \cdot \frac{A \cdot n}{B \cdot l_w} \right) \cdot T_n \quad (19)$$



Rys. 2. Profil lotu w zabiegu wielopolowym. 1, 2 – pola zabiegowe obrabiane jednocześnie, 3 – pole obrabiane oddzielnie

Fig. 2. Profile of the flight in multi-fields operation. 1, 2 – fields worked simultaneously, 3 – field worked separate

W praktyce występują obie opisane powyżej sytuacje: część pól obrabiana jest oddzielnie, część razem. Wówczas zależności (17), (18) oraz (19) jedynie w sposób częściowo poprawny opisują rzeczywistą ilość, a tym samym czas trwania nawrotów. Zauważyć należy również, że sposób obróbki pól 1 i 2 pokazany na rys. 2 wymaga wielokrotnych przelotów międzypolowych. Nie uwzględnili tego ani Baltin, ani Kostia. Ponadto zawarte w rozpatrywanych formułach człony dotyczące czasu trwania nawrotów oparte są na założeniu, że:

$$l = 1,301 \cdot \sqrt{F}, \text{ m} \quad (20)$$

natomiast w zabiegu wielopolowym:

$$l_w = \sum_{i=1}^n l_i, \text{ m} \quad (21)$$

przy czym współczynnik 1,301 (opisujący relację pomiędzy powierzchnią pola i jego długością) został określony na podstawie badań statystycznych [Rowiński 1988], i ma charakter przybliżony. Niestety w praktyce dla konkretnych pól może on przyjmować różne wartości. Stosowanie zależności (20) oraz (21) może więc powodować zaniżanie lub zawyżanie długości pól, a tym samym błędy obliczeń wydajności.

W celu określenia rzeczywistych długości pól przeprowadzono analizę map pól zabiegowych:

- dokonano pomiarów największej szerokości S konturów pól zabiegowych w kierunku normalnym do kierunku przelotów roboczych. Ustaloną w ten sposób szerokość pól podzielono przez szerokość roboczą, która w rozpatrywanych zabiegach wynosiła 40 m. Otrzymano w ten sposób ilość przelotów roboczych $k_s = \frac{S}{B}$
- powierzchnie poszczególnych pól podzielono przez szerokość roboczą, i otrzymano całkowite długości pól $L_c = \frac{F}{B}$
- po podzieleniu całkowitej długości danego pola L_c przez ilość przelotów roboczych k_s otrzymano rzeczywistą średnią długość danego pola l_s :

$$l_s = \frac{L_c}{k_s} \quad (22)$$

- rzeczywiste sumaryczne długości pól L_s (dla zabiegów wielopolowych) ustalono w oparciu o zależność:

$$L_s = \sum_{i=1}^n l_s \quad (23)$$

Uzyskane w ten sposób rzeczywiste długości pól porównano z odpowiadającymi im wartościami uzyskanymi na podstawie zależności (20) oraz (21). Okazało się, że spośród 30-tu rozpatrywanych lotów jedynie w 5 przypadkach rozbieżności pomiędzy wartościami obliczonymi na podstawie (20) oraz (21), a długościami rzeczywistymi mieściły się w granicach błędów obliczeń. W pozostałych 25 przypadkach rozbieżności były znaczące. W tej sytuacji uznano za celowe sprawdzenie, czy rozbieżności te w sposób istotny wpływają na dokładność obliczeń wydajności. W tym celu przeprowadzono analizę korelacji, sprawdzając prawdziwość hipotezy:

- H_0 : błędy obliczeń długości pól, wynikające z zastosowania wzorów (20) oraz (21), w sposób istotny wpływają na błędy obliczeń wydajności

wobec hipotezy alternatywnej:

- H_1 : nie ma takiej współzależności.

Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki analizy korelacji pomiędzy błędami obliczeń średniej długości pola, a błędami obliczeń wydajności

Table 2. Results of analysis of correlation between length of fields calculation errors and efficiency calculations errors

Zmienna niezależna	Zmienna zależna	Współczynnik korelacji	Prawdopodobieństwo dla współczynnika korelacji
ΔI	ΔW_B	0,58	0,00088
	ΔW_K	0,63	0,00018
	ΔW_J	0,49	0,00550

Wykazano tym samym, że stosowanie wzorów (20) oraz (21) w sposób istotny wpływa na pogorszenie dokładności obliczeń wydajności.

Podsumowanie

Przeprowadzona weryfikacja wykazała, że formuła Kostii najwierniej odzwierciedla rzeczywistość. Metody Baltina oraz Jacksona obarczone są błędami systematycznymi, powodującymi zawyżanie szacowanej wydajności. Wynikają one z ilości parametrów uwzględnionych w formułach, błędów merytorycznych, oraz z przyczyn które wykazano w pracy. W celu zwiększenia ich dokładności możliwe byłoby dokonanie odpowiednich korekt, oraz wprowadzenie wyznaczonych na podstawie zebranego materiału eksperymentalnego współczynników poprawkowych. Udoskonalona w ten sposób np. formuła Baltina, z uwagi na prostą postać,

byłaby stosunkowo łatwym narzędziem analiz prac agrolotniczych. Rozwiązanie takie byłoby jednak nie do końca prawidłowe. Wprowadzone współczynniki korekcyjne zapewniłyby prawidłowe dopasowanie wyników obliczeń do wartości rzeczywistych przede wszystkim w lotach, dla których zostały wyznaczone, oraz w lotach przeprowadzonych w podobnych warunkach. W zabiegach prowadzonych w odmiennych warunkach (np. na rzecz rolnictwa) lub przy użyciu innych statków powietrznych poprawione w ten sposób formuły mogłyby okazać się nieprzydatne. W związku z tym uznano, że najlepszym rozwiązaniem będzie wprowadzenie korekt do metody najdokładniejszej, czyli do równania Kostii.

Wnioski

1. Najbardziej wiarygodną analizę wydajności samolotów rolniczych umożliwia metoda Kostii. Dokładność tej metody nie jest jednak zadowalająca, bowiem odchylenia obliczonych na jej podstawie wydajności od osiągniętych w praktyce mogą być znaczące. W poddanych analizie 30-tu lotach operacyjnych odchylenia te wyniosły $\begin{matrix} +29,1 \\ -32,5 \end{matrix}$ ha/h ($\begin{matrix} +34,3 \\ -15,6 \end{matrix}$ %)
2. Dokładność metody Kostii można zwiększyć przez wprowadzenie do niej zależności umożliwiającej w zabiegach wielopolowych obliczanie ilości nawrotów wykonywanych nad polami obrabianymi oddzielnie (położonymi daleko od siebie), oraz czasu trwania przelotów pomiędzy polami obrabianymi jednocześnie (położonymi blisko siebie).
3. Korzystanie w toku analiz wydajności RSP z równań (20) oraz (21) w sposób istotny zmniejsza dokładność obliczeń. Wskazane jest więc stosowanie zależności (22) oraz (23), które umożliwiają określenie rzeczywistej ilości wykonywanych nawrotów.

Bibliografia

- Borodzik F. 1983. Wstęp do technologii prac agrolotniczych. PWRiL, Warszawa.
- Kostia T. 1966. Metod ekonomicheskoy ocenki samolotow priednaznaczennykh dla wypolnieniya sielskochozastwiennykh rabot. Instytut Lotnictwa, Warszawa.
- Kostia T. 1978. A method for determining the technical and economic characteristics of aeroplanes and helicopters used in agriculture. Seminar on techno-economic trends in airborne equipment for agriculture and other selected areas of the national economy. Warsaw.

Quantick H. R. 1985. Aviation in crop protection, pollution and insect control. Collins Professional and Technical Books, London.

Rowiński R. S. 1988. Rezultaty badań parametrów agrolotniczego cyklu operacyjnego. Roczn. Nauk Rol., t. 78-C-1, str. 181-189.

Rowiński R. S. 1994. Agrolotnictwo. Tom II: Ekonomia i organizacja pracy. Wydawnictwo ART. Olsztyn.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF AGRICULTURAL AIRCRAFT PRODUCTIVITY ASSESSMENT

Summary

In the study, an experimental verification of agricultural aeroplane productivity assessment methods was made. The verification covered the following methods: Baltin, Kostia and Jackson. The experimental material were the detailed data regarding 30 forest protection operations that covered a total area of 7 544 ha. It was established that productivity calculation results based on Kostia method are the nearest ones to the productivity values noted in the practice. In the analysed flights, the average productivity according to Kostia was 2.2% lower than the actual one. It was also found out that the accuracy of Kostia method is not satisfactory, since in the specific flights the average deviation of the calculated productivity from the actual one was $\begin{smallmatrix} +29,1 \\ -32,5 \end{smallmatrix}$ ha/h ($\begin{smallmatrix} +34,3 \\ -15,6 \end{smallmatrix}$ %). Based on the analysis of the causes of these divergences, some suggestions concerning the ways of increasing the accuracy of the above-mentioned method were made.

Key words: agricultural aviation, agricultural aircraft, efficiency of agricultural aircraft