

METHOD OF FORMULATING THE REQUIRED NUMBER OF VEHICLES FOR DELIVERY AIRCRAFTS IN AVIATION FUEL

METODA OBLICZANIA MINIMALNEJ LICZBY POJAZDÓW DOSTARCZAJĄCYCH PALIWA LOTNICZE STATKOM POWIETRZNYM

Józef Żurek¹⁾, Jarosław Ziółkowski²⁾

¹⁾Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. ²⁾Wojskowa Akademia Techniczna

Abstract: *An important part of the air base logistic system is the supply sub-system. In military operations the main delivery can be focused on munitions and aviation fuel. Effective management of the supply stream and the reliability of vehicles in the air base logistic system affect the quality of operations, which can be measured by on time provisions, economic factors and the reliability of vehicles. At present the number of tankers in the air base logistic system is based on experiences.*

Keywords: *vehicles, delivery, optimization*

Streszczenie: *W czasie wykonywania lotów przez statki powietrzne zasadnicze kwestie stanowią gotowość bojowa oraz mający na nią wpływ system zaopatrywania. Podstawowymi przedmiotami zaopatrzenia w czasie realizacji zadań są środki bojowe i paliwa lotnicze. Skuteczne zarządzanie przepływem wymaganych produktów a także niezawodność pojazdów i dyspozycyjność załogi wpływają na jakość wykonania zadania. Składowe tworzące tę jakość w działaniach wojskowych są mierzone gotowością. W rzeczywistych systemach eksploatacji liczba pojazdów zasilających statki powietrzne w paliwa lotnicze jest określona ze względu na bezpieczeństwo i niezawodność z nadmiarem odniesionym do liczby obiektów zabezpieczających loty.*

W artykule opracowano metodę wyznaczania niezbędnej liczby pojazdów niezbędnych do zasilania sp w paliwa lotnicze.

Słowa kluczowe: *pojazdy, dostarczanie, optymalizacja*

1. Wprowadzenie

W czasie realizacji zadań w systemach lotniczych niezbędne z punktu widzenia osiągnięcia założonego celu są: niezawodność oraz bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych [8,9]. Teoria dotycząca matematycznych modeli oraz metod stosowanych w niezawodności oraz gotowości obiektów technicznych została przedstawiona w pracach [1,4,6,7]. W rzeczywistości do badań oraz analizy procesów, obiektów czy też systemów eksploatacji wykorzystuje się rachunek prawdopodobieństwa oraz statystykę matematyczną [3], ze względu na fakt, że modelowanie matematyczne odnosi się do procesów stochastycznych [2,3].

W systemach eksploatacji statków powietrznych Su-22 będących na wyposażeniu 21 Bazy Lotnictwa Taktycznego w Świdwinie liczba pojazdów dostarczających paliwo lotnicze wynika z doświadczeń. Mając na uwadze niezawodność podsystemu dostarczającego paliwa rzeczywista liczba jest określona z nadmiarem strukturalnym.

W niniejszym artykule zaproponowano metodę matematyczną umożliwiającą wyznaczenie minimalnej liczby pojazdów o dowolnej pojemności, która zapewni dostawę potrzebnej ilości paliwa lotniczego podczas wykonywania lotów.

2. Założenia do budowy modelu matematycznego

Do budowy matematycznego modelu umożliwiającego obliczenie niezbędnej liczby pojazdów dostarczających paliwa statkom powietrznym przyjęto następujące założenia [5,6]:

- pojazd w dowolnej chwili może znajdować się w jednym z wyróżnionych stanów eksploatacyjnych;
- liczba statków powietrznych uczestniczących w lotach jest zmienną losową skokową;
- współczynnik opróżnienia zbiornika zasadniczego statku powietrznego jest zmienną losową przyjmującą wartości $K_{zu} \in \{0,33; 0,5; 0,66; 0,85\}$;
- pojazdy uszkodzają się w trakcie realizacji zadań w losowych chwilach czasu;
- czas odnowy (zamiany na sprawny technicznie) pojazdu jest ściśle zdeterminowany;
- czas trwania lotów (T_0) jest ustalony, zgodny z tabelą lotów.

Do opracowania modelu przyjęto następujące zmienne decyzyjne:

- liczba statków powietrznych – N_{SP} ;
- pojemność zbiornika (ów) zasadniczego (ych) statku powietrznego – V_{zbsp} ;
- współczynnik opróżnienia zbiornika statku powietrznego – K_{zu} ;
- liczba pojazdów – N_P ;
- pojemność pojazdu zaopatrującego statki powietrzne w paliwo lotnicze – V_P ;
- organizacja lotów (zgodna z planową tabelą lotów).

Równanie bilansu paliwa dla jednego wylotu statku powietrznego sp zgodnie z założonym czasem trwania lotów T_0 można wyznaczyć według zależności:

$$\sum_{k=1}^{N_{sp}} K_{zu} \cdot V_{zbsp} = V_{elt1} \quad (1)$$

gdzie:

N_{sp} – liczba wylotów statku powietrznego;

$k = 1, 2, \dots$, oznacza numer statku powietrznego.

Równanie bilansu zużytego paliwa dla maksymalnej liczby wylotów statków powietrznych sp eskadry lotnictwa taktycznego elt można zapisać jako:

$$\sum_k^{N_{SP}} \sum_l^{N_{elt}} ({}_{lk}K_{zu}) \cdot V_{zbsp} = V_{elt \max} \quad (2)$$

gdzie:

${}_{lk}N_{elt}$ – l -ty wylot k -tego sp eskadry lotnictwa taktycznego;

${}_{lk}K_{zu}$ – współczynnik zużycia paliwa dla l -tego wylotu k -tego statku powietrznego;

$N_{elt} \in \{1, \dots, 8\}$ liczba wylotów elt .

Zależność (2) uwzględnia założenie, że latały wszystkie statki powietrzne. Jeżeli tak nie będzie, to należy przyjąć dla l -tego wylotu k -tego sp zero (${}_{lk}K_{zu} = 0$).

Stan tankowania statków powietrznych rozważono dla dwóch sytuacji:

1) przy zerowym czasie oczekiwania ($t_{ocz} = 0$);

$$t_4 = t_m + K_{zu} \times t_{et} \quad (3)$$

gdzie:

t_4 – czas uzupełniania paliwa sp ;

t_m – czas manipulacyjny (związany z czasem dojazdu pojazdu do sp , czasem potrzebnym na podłączenie końcówki do tankowania itp.);

K_{zu} – współczynnik opróżnienia zbiornika sp ;

t_{et} – czas tankowania całkowicie opróżnionego zbiornika sp przez pojazd.

2) przy założeniu maksymalnej częstości wylotów (np. wylot co 40 min), dla którego $t_{ocz} \in (40\text{min.} - t_4)$.

Dla $K_{zu} = 0,85$ przy uwzględnieniu $T_0 = 8\text{h}$, otrzymuje się dla eskadry $N_{elt} = 5$. Stąd maksymalna ilość paliwa zużytego przez elt wynosi:

$$V_{elt \max} = \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^5 K_{zu} \cdot V_{zbsp} = 314500 [dm^3] \quad (4)$$

Method of formulating the required number of vehicles for delivery aircrafts...
Metoda obliczania minimalnej liczby pojazdów dostarczających paliwa lotnicze...

Równania bilansowe pojemności i czasu pracy dla pojazdu opisano zależnościami (5) i (6):

a) bilans pojemności:

$$N_{PV} \cdot V_P \geq V_{elt \max} \quad \text{stąd:} \quad N_{PV} \geq \frac{V_{elt \max}}{V_P} \quad (5)$$

gdzie:

N_{PV} – liczba pojazdów potrzebnych objętościowo do przewozu całego paliwa zużytego w czasie wykonywania lotów;

V_P – pojemność pojazdu;

$V_{elt \max}$ – maksymalne zużycie paliwa przez elt w czasie wykonywania lotów.

$$N_{PV} \geq \begin{cases} 69,889 & \text{dla } V_{P-4,5} \\ 41,933 & \text{dla } V_{P-7,5} \end{cases}$$

b) bilans czasów: założono, że czas potrzebny na cykl uzupełnienia paliwa przez pojazd t_5 musi spełniać warunek:

$$t_5 \leq t_{nPv} + t_m + t_2 + t_3; \quad (6)$$

gdzie:

t_{nPv} – czas napełniania pojazdu o określonej pojemności, uzależniony od stopnia jego opróżnienia;

t_m – czas manipulacyjny, związany z dojazdem pojazdu do magazynu i czynnościami przygotowawczymi do tankowania (np. podłączenie końcówek) oraz z powrotem na płytę lotniska;

t_2 – wymagany czas odstania paliwa;

t_3 – czas realizacji kontroli jakości paliwa w pojeździe.

Założono, że pojazd może wykonać w czasie realizacji lotów T_0 co najwyżej N_5 cykli uzupełniania paliwa. Równanie bilansu czasu pracy dla jednego pojazdu potrzebne jest do badania realności rozważanego procesu i można je zapisać w następujący sposób:

$$t_5 \cdot N_5 + t_4 \cdot N_4 \leq T_0 \quad (7)$$

$$N_5 \leq \frac{T_0}{t_5} \quad N_4 \leq \frac{T_0}{t_4} \quad (8)$$

gdzie:

t_5 – czas cyklu uzupełniania paliwa przez pojazd;

N_5 – liczba cykli uzupełniania paliwa przez pojazd;

t_4 – czas tankowania sp ;

N_4 – liczba tankowań sp ;

T_0 – czas trwania lotów.

Jeżeli $V_P \approx V_{zbsp}$, to dla jednego pojazdu musi być $N_4 = N_5$ i powstanie rezerwa czasowa, z reguły $t_4 \neq t_5$, a w praktyce $t_4 \ll t_5$.

Liczbę pojazdów potrzebnych objętościowo N_{PV} do przewozu całego paliwa zużywanego przez elt należy przetworzyć na liczbę pojazdów potrzebnych fizycznie N_P według wzoru:

$$N_P \geq \frac{N_{PV}}{N_5} \quad (9)$$

gdzie:

N_P – liczba pojazdów potrzebnych fizycznie do zabezpieczenia lotów;

N_{PV} – liczba pojazdów potrzebnych objętościowo do przewozu potrzebnej ilości paliwa w jednym rejsie;

N_5 – liczba możliwych cykli uzupełniania paliwa przez pojazd.

Na podstawie przyjętych założeń otrzymuje się następujące równania/nierówności:

$$\sum_k^{N_{SP}} \sum_l^{N_{elt}} (K_{zu}) \cdot V_{zbsp} = V_{elt \max} \quad (10)$$

$$N_{PV} \geq \frac{V_{elt \max}}{V_P} \quad (11)$$

$$N_P \geq \frac{N_{PV}}{N_5} \quad (12)$$

$$t_5 \cdot N_5 + t_4 \cdot N_4 \leq T_0 \quad (13)$$

$$N_5 \cdot V_P \geq N_4 \cdot V_{zbsp} \cdot K_{zu} \quad (14)$$

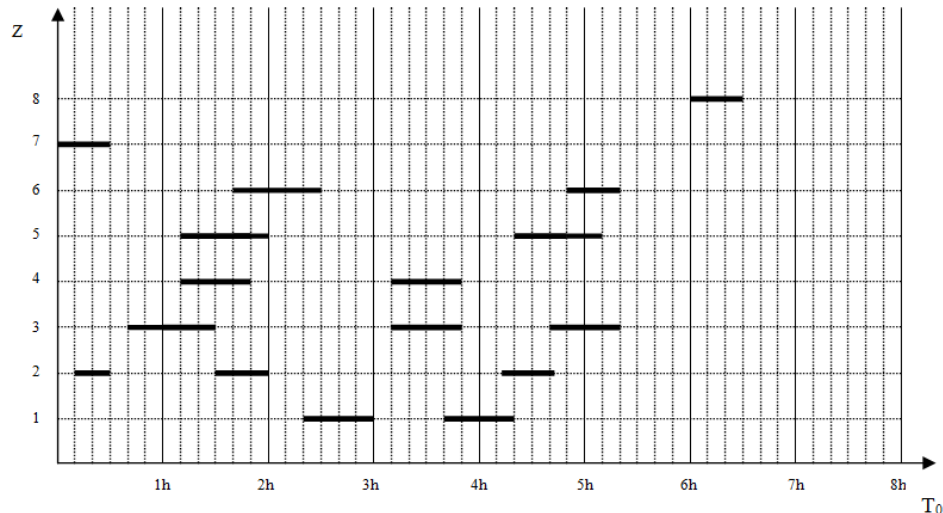
z których można wyznaczyć obszar dopuszczalnych rozwiązań przy założonych ograniczeniach.

3. Przykład liczbowy

W celu praktycznego zastosowania opracowanej metodyki obliczeń przyjęto następujące zmienne decyzyjne:

- czas trwania lotów $T_0 = 480$ [min].;
- liczba statków powietrznych realizująca loty - 8;
- loty są wykonywane na samolotach Su-22;
- współczynnik zużycia paliwa jest uzależniony od długości lotu i przyjmuje następujące wartości $K_{zu} = \{0,33; 0,5; 0,66; 0,85\}$;
- organizacja lotów jest zgodna z planową tabelą lotów (rys. 1).

*Method of formulating the required number of vehicles for delivery aircrafts...
Metoda obliczania minimalnej liczby pojazdów dostarczających paliwa lotnicze...*



Rys. 1. Planowa tabela lotów – wariant: T_0 - czas wykonywania lotów,
 Z - liczba statków powietrznych

Należy obliczyć minimalną, zapewniającą ciągłość lotów, liczbę pojazdów o pojemności 7,5 [m³], wystarczającą do zabezpieczenia odpowiedniej ilości paliwa lotniczego.

Rozwiązanie:

Zgodnie z zależnością (10) należy obliczyć ilość paliwa zużytego przez sp w czasie wykonywania lotów:

$$V_{elt} = \sum_k^{N_{sp}} \sum_l^{N_{elt}} (K_{zu}) \cdot V_{zbsp} = 47128,75 \text{ [dm}^3\text{]}$$

Ponieważ długość lotu statku powietrznego jest opisana zmienną losową skokową, dla której współczynnik opróżnienia zbiornika paliwa sp przyjmuje wartości ze zbioru $K_{zu} = \{0,33; 0,5; 0,66; 0,85\}$, potrzebną liczbę pojazdów należy obliczać dla wyżej wymienionych wartości K_{zu} w czterech przypadkach, a następnie otrzymane wyniki cząstkowe zsumować.

Przypadek I

Obliczenia ilości zużytego paliwa lotniczego dla $K_{zu} = 0,85$

$$V_{0,85} = 0,85 (1 \cdot V_{3zbsp} + 2 \cdot V_{5zbsp} + 1 \cdot V_{6zbsp}) = 15725 \text{ [dm}^3\text{]}$$

Określona liczba pojazdów o ustalonej pojemności zgodnie z zależnością (11) musi być większa bądź równa od potrzebnej ilości paliwa:

$$N_{pv} \cdot V_p \geq V_{elt}$$

a zatem:

$$N_{pv} \geq \frac{V_{elt}}{V_p} \geq \frac{15725}{7500} \geq 2,09 \approx 3$$

Czas cyklu uzupełniania paliwa przez pojazd składa się z sumy czasów potrzebnych na: dojazd pojazdu do magazynu, czasu manipulacyjnego, właściwego czasu tankowania, czasu powrotu na płytę lotniska, czasu odstania paliwa oraz kontroli jego czystości i wynosi on:

$$t_5 = 3,27 + 54 = 57,27 \text{ [min.]}$$

Czas tankowania sp jest ściśle określony, gdyż zależy od: współczynnika K_{zu} opróżnienia zbiornika sp , wydajności dystrybutora i czasu dojazdu zatankowanego pojazdu do statku powietrznego:

$$t_4 = 0,85 \cdot 4625 / 300 + 5 = 18,11 \text{ [min.]}$$

Liczbę cykli uzupełniania paliwa zarówno przez pojazd N_5 , jak i liczbę tankowań statku powietrznego N_4 należy obliczyć zgodnie z zależnościami (13 i 14) rozwiązując poniższy układ nierówności:

$$\begin{cases} t_5 \cdot N_5 + t_4 \cdot N_4 \leq T_0 \\ N_5 \cdot V_p \geq N_4 \cdot V_{zbsp} \cdot K_{zu} \end{cases}$$

$$N_5 \leq \frac{T_0}{t_5} - \frac{t_4 \cdot N_4}{t_5} \leq \frac{480}{57,27} - \frac{10,08 \cdot N_4}{57,27} \leq 8,38 - 0,176N_4$$

$$N_5 \geq \frac{K_{zu} \cdot V_{zbsp} \cdot N_4}{V_{p-7,5}} \geq \frac{0,85 \cdot 4625 \cdot N_4}{7500} \geq 0,5241N_4$$

$$8,38 - 0,176N_4 = 0,5241N_4$$

$$0,7001N_4 = 8,38 \Rightarrow N_4 = 11,9697$$

$$N_5 \geq 0,5241N_4 \geq 6,27 \approx 7$$

Po podstawieniu obliczonych N_{PV} oraz N_5 do wzoru (12) otrzymuje się:

$$N_{P0,85} \geq \frac{N_{PV}}{N_5} \geq \frac{3}{7} = 0,43$$

Przypadek II

Method of formulating the required number of vehicles for delivery aircrafts...
Metoda obliczania minimalnej liczby pojazdów dostarczających paliwa lotnicze...

Obliczenia ilości zużytego paliwa lotniczego dla $K_{zu} = 0,66$
 $V_{0,66} = 0,66 (2 \cdot V_{1zbsp} + 2 \cdot V_{3zbsp} + 2 \cdot V_{4zbsp}) = 18315 \text{ [dm}^3\text{]}$

Określona liczba pojazdów o ustalonej pojemności zgodnie z zależnością (11) musi być większa bądź równa od potrzebnej ilości paliwa, według poniższego wzoru:

$$N_{PV} \cdot V_P \geq V_{elt}$$
$$N_{PV} \geq \frac{V_{elt}}{V_P} \geq \frac{18315}{7500} \geq 2,442 \approx 3$$

Czas cyklu uzupełniania paliwa przez pojazd składa się z sumy czasów potrzebnych na: dojazd pojazdu do magazynu, czasu manipulacyjnego, właściwego czasu tankowania, czasu powrotu na płytę lotniska, czasu odstania paliwa oraz kontroli jego czystości i dla $K_{zu} = 0,66$ wynosi on:

$$t_5 = 2,54 + 54 = 56,54 \text{ [min.]}$$

Czas tankowania sp jest ściśle określony, gdyż zależy od: współczynnika K_{zu} opróżnienia zbiornika sp , wydajności dystrybutora i czasu dojazdu zatankowanego pojazdu do statku powietrznego:

$$t_4 = 0,66 \cdot 4625/300 + 5 = 15,17 \text{ [min.]}$$

Liczbę cykli uzupełniania paliwa zarówno przez pojazd N_5 , jak i liczbę tankowań statku powietrznego N_4 należy obliczyć zgodnie z zależnościami (13 i 14) rozwiązując poniższy układ nierówności:

$$\begin{cases} t_5 \cdot N_5 + t_4 \cdot N_4 \leq T_0 \\ N_5 \cdot V_P \geq N_4 \cdot V_{zbsp} \cdot K_{zu} \end{cases}$$
$$N_5 \leq \frac{T_0}{t_5} - \frac{t_4 \cdot N_4}{t_5} \leq \frac{480}{56,54} - \frac{15,17 \cdot N_4}{56,54} \leq 8,48 - 0,268N_4$$
$$N_5 \geq \frac{K_{zu} \cdot V_{zbsp} \cdot N_4}{V_{P-7,5}} \geq \frac{0,66 \cdot 4625 \cdot N_4}{7500} \geq 0,407N_4$$
$$8,48 - 0,268N_4 = 0,407N_4$$
$$0,675N_4 = 8,48 \Rightarrow N_4 = 12,56$$
$$N_5 \geq 0,407N_4 \geq 5,11 = 6$$

Po podstawieniu obliczonych N_{PV} oraz N_5 do wzoru (12) otrzymuje się:

$$N_{P0,66} \geq \frac{N_{PV}}{N_5} \geq \frac{3}{6} = 0,5$$

Przypadek III

Obliczenia ilości zużytego paliwa lotniczego dla $K_{zu} = 0,5$

$$V_{0,5} = 0,5 (2 \cdot V_{2zbsp} + V_{6zbsp} + V_{7zbsp} + V_{8zbsp}) = 11562,5 \text{ [dm}^3\text{]}$$

Określona liczba pojazdów o ustalonej pojemności musi być większa/równa od potrzebnej ilości paliwa. Zatem oblicza się ją według poniższej zależności:

$$N_{PV} \cdot V_{PD} \geq V_{elt \max}$$

$$N_{PV} \geq \frac{V_{elt}}{V_P} \geq \frac{11562,5}{7500} \geq 1,54 \approx 2$$

Czas t_5 cyklu uzupełniania paliwa przez pojazd wynosi:

$$t_5 = 1,927 + 54 = 55,927 \text{ [min.]}$$

Czas tankowania sp zależy od: pojemności zbiornika sp współczynnika opróżnienia zbiornika K_{zu} , wydajności dystrybutora i czasu dojazdu zatankowanego pojazdu do statku powietrznego:

$$t_4 = 0,5 * 4625/300 + 5 = 12,71 \text{ [min.]}$$

Liczbę cykli uzupełniania paliwa przez pojazd N_5 , jak również liczbę tankowań statku powietrznego N_4 należy obliczyć zgodnie z zależnościami (13) i (14) rozwiązując poniższy układ nierówności:

$$\begin{cases} t_5 \cdot N_5 + t_4 \cdot N_4 \leq T_0 \\ N_5 \cdot V_P \geq N_4 \cdot V_{zbsp} \cdot K_{zu} \end{cases}$$

$$N_5 \leq \frac{T_0}{t_5} - \frac{t_4 \cdot N_4}{t_5} \leq \frac{480}{55,927} - \frac{12,71 \cdot N_4}{55,927} \leq 8,58 - 0,227N_4$$

$$N_5 \geq \frac{K_{zu} \cdot V_{zbsp} \cdot N_4}{V_{P-7,5}} \geq \frac{0,5 \cdot 4625 \cdot N_4}{7500} \geq 0,308N_4$$

$$8,58 - 0,227N_4 = 0,308N_4$$

$$0,535N_4 = 8,58 \Rightarrow N_4 = 16,03$$

$$N_5 \geq 0,308N_4 \geq 4,93 = 5$$

Po podstawieniu obliczonych N_{PV} oraz N_5 do wzoru (12) otrzymuje się:

$$N_{P0,5} \geq \frac{N_{PV}}{N_5} \geq \frac{2}{5} = 0,4$$

Przypadek IV

Obliczenia ilości zużytego paliwa lotniczego dla $K_{zu} = 0,33$

$$V_{0,33} = 0,33 (V_{zbsp}) = 1526,25 \text{ [dm}^3\text{]}$$

Określona liczba pojazdów o ustalonej pojemności musi być większa/równa od potrzebnej ilości paliwa, a zatem jest ona obliczana jako:

$$N_{PV} \cdot V_P \geq V_{elt \max}$$
$$N_{PV} \geq \frac{V_{elt}}{VP} \geq \frac{1526,25}{7500} \geq 0,2 = 1$$

Czas t_5 cyklu uzupełniania paliwa przez pojazd wynosi:

$$t_5 = 1,27 + 54 = 55,27 \text{ [min.]}$$

Czas tankowania sp jest ściśle określony i wynosi:

$$t_4 = 0,33 \cdot 4625 / 300 + 5 = 10,08 \text{ [min.]}$$

Liczbę cykli uzupełniania paliwa przez pojazd N_5 jak i liczbę tankowań statków powietrznych N_4 należy obliczyć zgodnie z zależnościami (13) i (14) rozwiązując poniższy układ nierówności:

$$\begin{cases} t_5 \cdot N_5 + t_4 \cdot N_4 \leq T_0 \\ N_5 \cdot V_{CD} \geq N_4 \cdot V_{zbsp} \cdot K_{zu} \end{cases}$$

Po podstawieniu danych otrzymuje się:

$$N_5 \leq \frac{T_0}{t_5} - \frac{t_4 \cdot N_4}{t_5} \leq \frac{480}{55,27} - \frac{10,08 \cdot N_4}{55,27} \leq 8,68 - 0,18N_4$$
$$N_5 \geq \frac{K_{zu} \cdot V_{zbsp} \cdot N_4}{V_{P-7,5}} \geq \frac{0,33 \cdot 4625 \cdot N_4}{7500} \geq 0,2035N_4$$
$$8,68 - 0,18N_4 = 0,2935N_4$$
$$0,3835N_4 = 8,68 \Rightarrow N_4 = 22,63$$
$$N_5 \geq 0,2035N_4 \geq 4,605 = 5$$

Po podstawieniu obliczonych N_{PV} oraz N_5 do wzoru (12) otrzymuje się:

$$N_{P0,33} \geq \frac{N_{PV}}{N_5} \geq \frac{1}{5} = 0,2$$

Wymaganą niezbędną liczbę pojazdów o pojemności $7,5[m^3]$ uzyskano w wyniku zsumowania liczebności cząstkowych dla przyjętych współczynników K_{zu} stopnia opróżnienia zbiornika sp zgodnie z zależnością:

$$N_{P-7,5} > N_{P0,33} + N_{P0,5} + N_{P0,66} + N_{P0,85}$$

$$\text{ponieważ } 0,43 + 0,5 + 0,4 + 0,2 = 1,53 \quad \text{zatem } = N_{P-7,5} > 1,53 \Rightarrow 2$$

Zaproponowana metoda jest uniwersalna i prezentuje przykład zastosowania aparatu matematycznego umożliwiającego połączenie teorii i praktyki w zakresie modelowania realnych procesów realizowanych w systemie logistycznym bazy lotniczej (BLot.).

4. Zakończenie

W artykule przedstawiono metodę obliczania niezbędnej liczby pojazdów o dowolnej pojemności dostarczających paliwa lotnicze (na obecną chwilę ilość pojazdów jest ustalana empirycznie i z określonym nadmiarem).

Wymagana ilość pojazdów jest uzależniona od:

- liczby i rodzaju *sp* biorących udział w lotach;
- przyjętego planu lotów (planowa tabela lotów), tj. długości lotów oraz częstotliwości wylotów;
- pojemności zbiorników pojazdów dostarczających paliwo lotnicze;
- organizacji systemu uzupełnienia paliwa w pojazdach (czasy manipulacyjne, wydajności dystrybutora/ów; czas odstania paliwa, kontroli czystości, poziomu wyszkolenia czynnika ludzkiego).

Metodę można zmodyfikować poprzez współczynnik nadmiaru, który spowoduje zwiększenie niezbędnej liczby pojazdów oraz poprawi gotowość systemu.

5. Literatura

- [1] Bobrowski D., Modele i metody matematyczne teorii niezawodności, WNT, Warszawa 1985.
- [2] Decewicz A. Probabilistyczne modele badań operacyjnych, SGH, Warszawa 2011.
- [3] Fisz M., Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna, PWN, 1967.
- [4] Gniedenko B.W., Bielajew J. K., Sołowiew A.D., Metody matematyczne w teorii niezawodności, WNT, Warszawa 1968.
- [5] Ziółkowski J., Method of formulating the required number of tankers for delivery aircrafts in aviation fuel, Zagadnienia eksploatacji maszyn 3(163) vol.45/2010, PAN, Institute for Sustainable Technologies - Radom, ISSN 0137-5474, s.75-87.
- [6] Ziółkowski J., Analiza systemu logistycznego bazy lotniczej w aspekcie gotowości, rozprawa doktorska, ITWL, Warszawa 2004.
- [7] Żurek J., Ziółkowski J. Metoda obliczania niezbędnej liczby cystern w systemie logistycznym bazy lotniczej. Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej nr 3/2006, Kraków 2006, s. 246-253
- [8] Żurek J., Bagiński A., Problems of safety in aviation, Problemy bezpieczeństwa w lotnictwie, Journal of Conbin, nr 3(6)/2008, s. 5-24.

*Method of formulating the required number of vehicles for delivery aircrafts...
Metoda obliczania minimalnej liczby pojazdów dostarczających paliwa lotnicze...*

- [9] Żurek J., Modelowanie niezawodności nadążnych systemów bezpieczeństwa, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2010.



Prof. dr hab. inż. Józef ŻUREK, profesor zwyczajny Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w Warszawie, zastępca przewodniczącego Rady Naukowej ITWL. Ukończył Wojskową Akademię Techniczną. Inicjator, a także współtwórca wdrożonych w Siłach Zbrojnych RP systemów ewidencji i przetwarzania danych eksploatacyjnych wojskowych statków powietrznych, które służą do analizy niezawodności, oceny trwałości techniki lotniczej oraz bezpieczeństwa lotów. Opublikował wiele prac z dziedziny eksploatacji obiektów technicznych i bezpieczeństwa systemów technicznych. Jest autorem i współautorem kilku publikacji książkowych. Uczestniczył w tworzeniu nowych kierunków naukowych w Polsce jako organizator i współorganizator wielu konferencji z dziedzin: inżynierii systemów, bezpieczeństwa systemów, eksploatacji obiektów technicznych (Udział 50%).



płk dr inż. Jarosław Ziółkowski jest absolwentem Wydziału Mechanicznego WAT. W roku 2004 uzyskał stopień doktora nauk technicznych w specjalności: modelowanie procesów eksploatacji. Pracuje w Wydziale Logistyki WAT na stanowisku Zastępcy Dziekana. Zajmuje się zagadnieniami modelowania matematycznego procesów eksploatacji, logistyką, łańcuchami dostaw, ekologią (Udział 50%).