

О.П. Калініченко, О.В. Павленко, І.О. Солдатенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ОПЕРАТИВНЕ ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ БОЙОВИХ ЛІТАКІВ НА ЛЕТОВИЩАХ УКРАЇНИ

У статті формалізовано процес оперативного планування обслуговування бойових літаків для технічного обслуговування, заправки паливом та боєкомплектотом. Побудовано алгоритм визначення оптимальної кількості транспортних ресурсів, в якому враховані умови підготовки бойового літака (нормальні, попередня підготовка та інші), впливу зовнішніх природних умов (температура, пора доби), зміну нормативних значень визначених ресурсів.

Ключові слова: оперативне планування, бойові літаки, транспортне обслуговування, алгоритм.

Постановка проблеми

Транспортне обслуговування бойових літаків на теперішній час потребує високого рівня мобільності та організаційно надійного управління процесом. Злагоджена робота сил та засобів, які виділені для забезпечення польотів, та постійна готовність можлива при ефективному оперативному плануванні на аеродромах, як військових так і цивільних [1].

В умовах бойових дій, коли необхідно мати можливість швидко переміщувати технічні засоби обслуговування з мінімальними витратами ресурсів, набуває достатньо великого сенсу побудова чітко встановленої послідовності технологічних операцій та визначених умов впливу зовнішніх факторів на кожному кроці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато попередніх досліджень, пов'язаних з плануванням операцій передпольотної підготовки літаків на летовищах в різних умовах [2, 3]. У більшості літератури проблема планування операцій підготовки до польоту розглядалася як проблема планування проекту з обмеженими ресурсами [4, 5].

Оптимізація використання ресурсів завжди була актуальною проблемою досліджень авіаційної галузі [6]. Автори в [6] вивчили кадрові рішення компанії з технічного обслуговування літаків та складання графіка технічного обслуговування літаків; запропонували алгоритм перерахування з обмеженням, в якому кожен вузол дерева перерахування є змішаною цілою лінійною задачею. Вивчення технологій оперативного технічного обслуговування повітряних суден проводилося авторами на основі затримки рейсу та проблеми спільної оптимізації обслуговуючого персоналу на летовищі [7]. Оптимізація обслуговування повітряних суден з урахуванням невизначеності було запропоновано в [8]. В

частині експериментів представлено як результати індивідуального налаштування моделі, так і оптимальні стратегії обслуговування.

Окрему увагу приділялося оперативному плануванню в системі обслуговування замовлень на транспорті. Так автори статей [9, 10, 11] пропонують максимально ефективно використовувати саме транспортні ресурси для обслуговування замовника з раціональним завантаженням та модульним принципом формування відправлення.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є розробка технології оперативного планування процесу транспортного обслуговування бойових літаків на летовищах України. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити задачі:

- формалізація процесу оперативного планування обслуговування бойових літаків для технічного обслуговування, заправки паливом та боєкомплектотом;
- розробка алгоритму визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна;
- розробка технології визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна.

Виклад основного матеріалу

Для побудови раціональної технології визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів з підготовки повітряного судна на летовищах України зазначено послідовність операцій, що направлені на порівняння різних технологій доставки вантажів з використанням двох форм – «одному повітряному судну – один автомобіль» та з викорис-

танням модульних конструкцій, що буксирує трактор [12].

Мінімальна кількість засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів визначається з розрахунку: для підрозділів винищувальної, бомбардувальної, розвідувальної, штурмової авіації, навчальних підрозділів: ланка – 4 повітряні судна, ескадрилья - 12 повітряних суден; для підрозділів транспортної авіації: загін – від 2 до 4 повітряних суден, ескадрилья – від 6 до 12 повітряних суден; для підрозділів розвідувальної авіації, які експлуатують безпілотні повітряні судна: загін – 4 повітряні судна, ескадрилья – 12 повітряних суден; для вертолітних підрозділів: ланка – 4 повітряні судна, ескадрилья – від 20 до 24 повітряних суден; для підрозділів морської авіації, які експлуатують літаки: загін – 3 повітряні судна, ескадрилья – 12 повітряних суден; які експлуатують вертольоти: загін – 4 повітряні судна, ескадрилья – 12 повітряних суден.

Виходячи з мінімально необхідної кількості засобів аеродромно-технічного обслуговування визначаємо, що мінімально необхідна їх кількість складає 15 одиниць. Слід зауважити, що аеродромний пересувний електроагрегат використовується для одночасного обслуговування двох повітряних суден, а автомобілі-тягачі не будуть розглядатись в запропонованій технології, як обов'язково необхідні для транспортування повітряних суден «одному повітряному судну – один автомобіль».

Попередня підготовка повітряного судна до польотів включає в себе комплекс зазначених в експлуатаційній документації робіт, що їх виконують на повітряному судні завчасно і спрямовані на підтримання його у встановленому ступені готовності до польотів, виконується на протязі тривалого часу, тому не нормується.

Вихідними даними для розрахунку потрібної кількості паливозаправників для підготовки літаків до повторного польоту є: тип літаків та їх експлуатаційні характеристики; кількість літаків, запланована на польоти; середній час польоту літака; наявна кількість, тип та характеристики паливозаправників; середній час заправки паливом одинокого літака; допоміжний час при заправці літака одним паливозаправником; час рейсу паливозаправника на склад ПММ для поповнення цистерни паливом; стартовий час (час підготовки до повторного польоту).

Час циклу одного паливозаправника дорівнює

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{роб}} + t_{\text{рейс}}, \quad (1)$$

де $t_{\text{роб}}$ - час роботи одного паливозаправника до повного виробітку палива та необхідності його

поповнення на складі паливно-мастильних матеріалів, год.

$$t_{\text{роб}} = (t_{\text{запр}} + t_{\text{доо}}) \cdot N_{\text{ПС}}, \quad (2)$$

де $N_{\text{ПС}}$ - кількість повітряних суден, яку може заправити один паливозаправник без поїздки на поповнення своєї цистерни, од.

Час рейсу визначається за формулою

$$t_{\text{рейс}} = \frac{2 \cdot L}{V_t} + t_{\text{скл}}, \quad (3)$$

де L - відстань від місця стоянки повітряних суден до складу паливно-мастильних матеріалів, км;
 V_t - технічна швидкість руху паливозаправника до складу паливно-мастильних матеріалів та назад до місця стоянки повітряних суден, км/год;

$t_{\text{скл}}$ - середній час заправки цистерни паливозаправника на складі, год.

Кількість циклів, які може виконати один паливозаправник за стартовий час, дорівнює

$$n_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{ст}}}{T_{\text{ц}}} \quad (4)$$

де $t_{\text{ст}}$ - стартовий час, год.

Кількість повітряних суден яку може заправити один паливозаправник за один цикл дорівнює:

$$N_{\text{ПС}} = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{запр}}}, \quad (5)$$

$$t_{\text{запр}} = t_0 + t_{\text{доо}} = t_0 + t_{\text{розг}} + t_{\text{згор}} + t_{\text{переїзд}}, \quad (6)$$

де t_0 - технологічний час заправки паливної системи одного літака, год;

$t_{\text{розг}}$ - час на під'їзд паливозаправника до літака, розгортання шлангів, під'єднання штуцера заправки чи встановлення пістолета заправки в заправочну горловину паливної системи літака, год;

$t_{\text{згор}}$ - час на від'єднання штуцера заправки від паливної системи літака, згортання шлангів паливозаправника, год;

$t_{\text{переїзд}}$ - час на переїзд від одного літака до іншого, год.

Кількість літаків, які можуть бути заправлені одним паливозаправником за стартовий час, визначається за таким виразом

$$N_{cm} = N_{ПС} \cdot n_{ц}, \quad (7)$$

Наявна інтенсивність заправки повітряного судна паливозаправниками за стартовий час визначається

$$\lambda_{нааяв} = \frac{N_{ст}}{t_{ст}}. \quad (8)$$

Потрібна (задана) інтенсивність підготовки повітряних суден визначається за формулою

$$\lambda_{потр} = \frac{N_{ПС} \cdot n_{пол}}{t_{ст}}, \quad (9)$$

де $n_{пол}$ – кількість запланованих польотів на один літак, од.

Час підготовки заданої кількості літаків до повторного польоту дорівнює

$$t_{підг} = \frac{N_{ПС}}{\lambda_{нааяв}}. \quad (10)$$

Тоді, потрібна кількість паливозаправників для забезпечення заданої інтенсивності підготовки ПС до чергового польоту розраховується за формулою

$$n_{ПЗ} = \frac{\lambda_{потр}}{\lambda_{нааяв}}. \quad (11)$$

Особливість заправки групи повітряних суден стислим повітрям під час підготовки до повторного польоту полягає у необхідності заправки систем усіх літаків.

Необхідна кількість повітряних балонів розраховується за формулою

$$N_6 = \frac{V_{6Л} \cdot (P_2 - P_{02}) \cdot c}{V_6 \cdot (P_1 - P_{01})}, \quad (12)$$

де $V_{6Л}$ – ємність балонів, л.;

V_6 – ємність балонів повітрязаправника, л.;

P_2 – кінцевий тиск зарядки балонів повітряного судна, Па;

P_{02} – початковий тиск перед зарядкою в балонах повітряного судна, Па;

c – кількість літакозаправок повітрям, що плануються, од.;

P_1 – тиск в балонах повітрязаправника, Па;

P_{01} – залишковий тиск у балонах, Па.

Сумарний час зарядки повітрям одного повітряного судна розраховується за формулою

$$\sum t_{зп} = t_{зп1} + t_{доп}, \quad (13)$$

де $t_{зп1}$ – час зарядки повітряних балонів повітряного судна;

$t_{доп}$ – допоміжний час на під'їзд ПЗ, під'єднання і від'єднання шлангів, він визначається типом повітряного судна.

Найбільш критичним є розрахунковий інтервал при підготовці ПС до повторного вильоту.

Тому, кількість повітряних суден яку можна зарядити стислим повітрям під час підготовки до повторного вильоту розраховується за формулою

$$N_{ПС} = \frac{t_{повт}}{\sum t_{зп}}. \quad (14)$$

Необхідна кількість електроагрегатів для живлення повітряних суден електроенергією розраховується за формулою

$$N_e = \frac{N_{ПС} (t_e + t'_e)}{T_e}, \quad (15)$$

де t'_e – час, який витрачається біля кожного судна на виконання допоміжних операцій $t'_e = 5$ хв;

t_e – час живлення електроенергією одного судна, хв.

Заданий час підготовки повітряного судна до польотів визначається за формулою

$$T_e = t_e + \left[\frac{N_{ПС}}{n_{т.р}} - 1 \right] \cdot t_{max} \quad (16)$$

де $n_{т.р}$ – кількість технічних розрахунків, од.;

t_{max} – максимальний час підготовки ПС технічним розрахунком.

Для визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна на летовищах України розроблено алгоритм визначення оптимальної кількості транспортних засобів 7 видів, для заправки повітряного судна різними технологічними газами та рідинами. Кількість транспортних засобів визначається за двома варіантами – одиничний автомобіль та модульна конструкція.

Розроблений алгоритм базується на застосуванні методу лінійного програмування та визначений як «пряма задача» тому отримане рішення існує в єдиному варіанті і є оптимальним. В якості зовні-

шньої бази даних виступає нормативна регламентна інформація, що визначає порядок обслуговування повітряних суден, що затверджено відповідними наказами.

При виконанні розрахунків враховуються можливі умови, що пов'язані з добовим періодом часу, та з кліматичними умовами. Для зазначених умов обслуговування виділяються чотири види підготовки повітряних суден до польотів. Для кожного з видів підготовки за існуючими регламентами визначаються необхідні операції з заправки повітряних суден відповідними рідинами та газами. Визначається їх необхідна кількість та обсяг, що буде впливати на подальший час обслуговування та на порядок обслуговування.

В залежності від обраного виду підготовки визначається необхідна кількість транспортних засобів з урахуванням обмежень за термінами виконання таких робіт. Кількість транспортних засобів визначається за існуючою технологією обслуговування та за запропонованою технологією з використанням модульних конструкцій у складі тягача та чотирьох модулів, що дозволяють проводити заправку повітряного судна необхідними речовинами, та обсяг цих речовин дозволяє виконувати такі роботи на протязі мінімум доби. Після визначення необхідної кількості транспортних засобів обирається оптимальна схема за критерієм мінімум витрат на виконання запланованих робіт. Розроблений алгоритм представлено на рисунку 1.

Для визначення математичної моделі, щодо розподілу та закріплення наявних транспортних засобів за повітряними суднами скористуємося підходом до визначення задач використання ресурсів (рис. 2). Нехай задані O – кількість існуючих засобів обслуговування, та Π – кількість повітряних суден, що повинні бути обслуговані у зазначений час. S – витрати на обслуговування.

Якщо витрати на обслуговування одного виду повітряного судна складають S , то загальні витрати складуть значення $S_i \cdot \Pi_j$. Тоді можливо дати наступне математичне формулювання цільової функції

$$B_{заг} = S_1 \cdot \Pi_1 + S_2 \cdot \Pi_2 + \dots = \sum_{i=1}^n S_j \cdot \Pi_j \rightarrow \min .(17)$$

При вирішенні даної задачі повинні бути враховані обмеження на витрату ресурсів. На обслуговування Π_1 кількості повітряних суден необхідно S_{11} грн, тоді як максимальна кількість існуючих засобів обслуговування для Π_1 складає O_1 . В такому випадку можливо записати обмеження наступним чином

$$S_{11} \cdot \Pi_1 + S_{21} \cdot \Pi_1 + \dots \leq O_1, \quad (18)$$

або

$$\sum_{i=1}^n S_{li} \cdot \Pi_i \leq O_l. \quad (19)$$

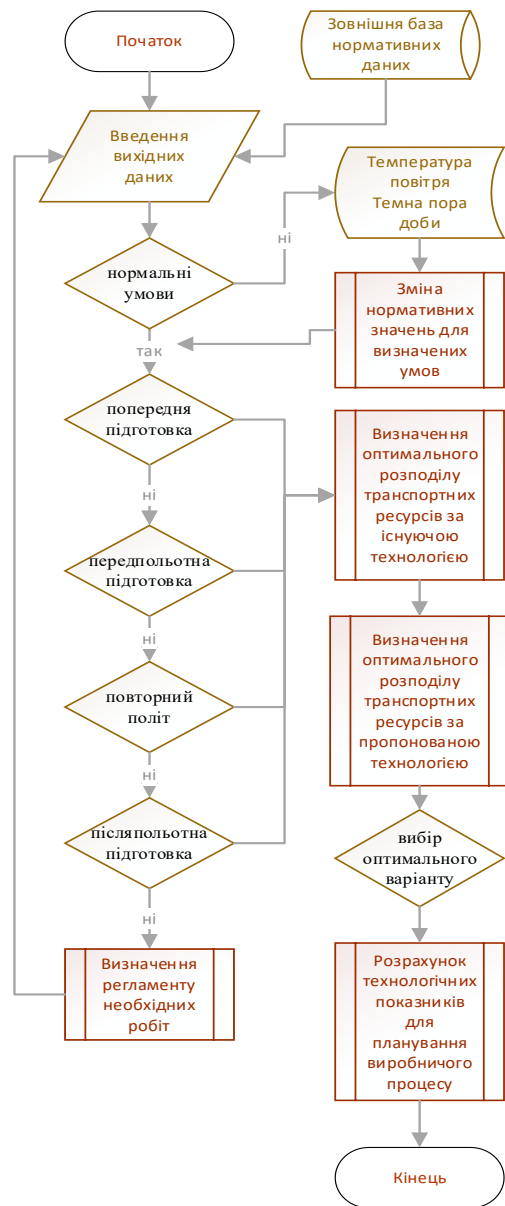


Рис.1. Алгоритм визначення оптимальної кількості транспортних ресурсів

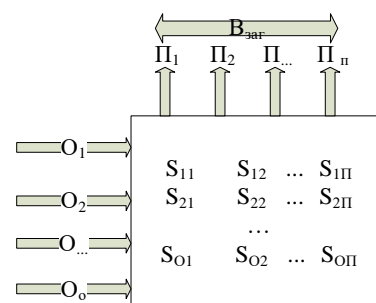


Рис.2. Формалізований вигляд закріплення транспортних засобів

Аналогічним чином можливо визначити систему обмежень по іншим існуючим засобам обслуговування:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n S_{1i} \cdot \Pi_i \leq O_1 \\ \sum_{i=1}^n S_{2i} \cdot \Pi_i \leq O_2 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n S_{ji} \cdot \Pi_i \leq O_j \\ \Pi_i \geq 0 \\ \Pi_i - \text{цiле} \end{array} \right. \quad (20)$$

Висновки

Визначено, що на теперішній час у місцях постійної дислокації Повітряних Сил Збройних Сил України застосовуються застарілі транспортно-технологічні схеми доставки вантажів для технічного обслуговування, заправки паливом та боекомплектом, що призводить до зниження боєздатності та підвищення матеріальних витрат та витрат часу на проведення робіт пов'язаних з обслуговуванням літаків.

Запропоновано алгоритм визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна при використанні двох схем обслуговування повітряних суден – існуючу, з використанням існуючих транспортних засобів та пропонувану – з використанням модульних конструкцій.

Представлено формалізацію процесу оперативного планування обслуговування бойових літаків для технічного обслуговування, заправки паливом та боекомплектом для розробки технології визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна

Література

1. Новічонок С.М. Проблеми стандартизації аеродромно-технічного забезпечення державної авіації України та шляхи їх вирішення в умовах взаємодії з НАТО та міжнародної інтеграції. / С.М. Новічонок, О.В. Бабіч, І.В. Терентьєва // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. – № 2(62). – С. 24-34.
2. Mariza Tsakalerou, Dauren Nurmaganbetov, Nurtay Beltenov, Aircraft Maintenance 4.0 in an era of disruptions, *Procedia Computer Science, Volume 200, 2022*, Pages 121-131.
3. Boris Safoklov, Denis Prokopenko, Yury Deniskin, Mikhail Kostyshak, Model of aircraft maintenance repair and overhaul using artificial neural networks, *Transportation Research Procedia, Volume 63, 2022*, Pages 1534-1543.

4. Darren Prescott, John Andrews, Modelling the Use of Maintenance to Minimise Aircraft Service Disruption, *IFAC Proceedings Volumes, Volume 43, Issue 3, 2010*, Pages 44-49.
5. Salah Albakkoush, Emanuele Pagone, Konstantinos Salonitis, An approach to airline MRO operators planning and scheduling during aircraft line maintenance checks using discrete event simulation, *Procedia Manufacturing, Volume 54, 2021*, Pages 160-165.
6. Beliën, J., Demeulemeester, E., De Bruecker, P., Van den Bergh, J., & Cardoen, B. (2013). Integrated staffing and scheduling for an aircraft line maintenance problem. *Computers & Operations Research, 40(4)*, 1023-1033.
7. Eltoukhy, A.E.E., Wang, Z.X., Chan, F.T.S. & Chung, S.H. (2018). Joint optimization using a leader–follower Stackelberg game for coordinated configuration of stochastic operational aircraft maintenance routing and maintenance staffing. *Computers & Industrial Engineering, 125*, 46-68.
8. Ma, H-L., Sun, Y., Chung, S-H. & Chan, H.K. (2022). Tackling uncertainties in aircraft maintenance routing: A review of emerging technologies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 164*, 102805.
9. Díaz-Madroñero, M., Peidro, D., & Mula, J. (2014). A fuzzy optimization approach for procurement transport operational planning in an automobile supply chain. *Applied Mathematical Modelling, 38 (23)*, 5705-5725.
10. Калініченко, О.П. Оптимізація рішення задач оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті / О.П. Калініченко, О.В. Павленко, В.М. Нефьодов // Комунальне господарство міст. – 2018. – 142. – С. 108-113.
11. Kopytkov, D., Pavlenko, O. & Kalinichenko, O. (2018). A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph.* 150-157.
12. Нагорний, Е.В. Модель функціонування систем наземного транспортного обслуговування бойових літаків / Е.В. Нагорний, О.П. Калініченко, О.В. Павленко // Комунальне господарство міст. – 2021. – 166. – С. 211-216.

References

1. Novichonok S.M., Babich O.V. & Terentyeva I.V. (2020). Problems of standardization of aerodrome-technical support of the state aviation of Ukraine and ways of their solution in the conditions of interaction with NATO and international integration. *Weapons systems and military equipment. 2(62)*, 24-34.
2. Mariza Tsakalerou, Dauren Nurmaganbetov, Nurtay Beltenov (2022) Aircraft Maintenance 4.0 in an era of disruptions, *Procedia Computer Science, Volume 200*, Pages 121-131.
3. Boris Safoklov, Denis Prokopenko, Yury Deniskin, Mikhail Kostyshak (2022) Model of aircraft maintenance repair and overhaul using artificial neural networks, *Transportation Research Procedia, Volume 63*, Pages 1534-1543.
4. Darren Prescott, John Andrews (2010) Modelling the Use of Maintenance to Minimise Aircraft Service Disruption, *IFAC Proceedings Volumes, Volume 43, Issue 3*, Pages 44-49.
5. Salah Albakkoush, Emanuele Pagone, Konstantinos Salonitis (2021) An approach to airline MRO operators planning and scheduling during aircraft line maintenance checks using discrete event simulation, *Procedia Manufacturing, Volume 54*, Pages 160-165.
6. Beliën, J., Demeulemeester, E., De Bruecker, P., Van den Bergh, J., & Cardoen, B. (2013). Integrated staffing and scheduling for an aircraft line maintenance problem. *Computers & Operations Research, 40(4)*, 1023-1033.
7. Eltoukhy, A.E.E., Wang, Z.X., Chan, F.T.S. & Chung, S.H. (2018). Joint optimization using a leader–follower Stackelberg game for coordinated configuration of stochastic operational

aircraft maintenance routing and maintenance staffing. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 46-68.

8. Ma, H-L., Sun, Y., Chung, S-H. & Chan, H.K. (2022). Tackling uncertainties in aircraft maintenance routing: A review of emerging technologies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 164, 102805.

9. Diaz-Madroñero, M., Peidro, D., & Mula, J. (2014). A fuzzy optimization approach for procurement transport operational planning in an automobile supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 38 (23), 5705-5725.

10. Kalinichenko, O., Nefyodov, V., & Pavlenko, O. (2018). Optimization of the operative planning task for freight transportation on motor transport. *Municipal economy of cities*, 142, 108-113.

11. Kopytkov, D., Pavlenko, O. & Kalinichenko, O. (2018). A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph*. 150-157.

12. Nagornyy, Y., Kalinichenko, O. & Pavlenko, O. (2021). Model of operation of combat aircraft ground transportation service systems. *Municipal economy of cities*, 166, 211-216.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Горбачов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна.

Автор: КАЛІНІЧЕНКО Олександр Петрович

кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

E-mail – kttkap@gmail.com

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9024-3668>

Автор: ПАВЛЕНКО Олексій Вікторович

кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

E-mail – tprov@ukr.net

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4237-4310>

Автор: СОЛДАТЕНКО Ігор Олегович

аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

E-mail – iso1770@ukr.net

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5199-5499>

OPERATIONAL PLANNING OF THE PROCESS OF TRANSPORT MAINTENANCE OF COMBAT AIRCRAFT AT UKRAINIAN AIRFIELDS

O. Kalinichenko, O. Pavlenko, I. Soldatenko

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

The article analyzes the current state and prospects of development of transport service systems for combat aircraft, which allowed to form the purpose of the study in this research. The chosen topic is very relevant, because the rational technology of operational planning of transport service process of combat aircraft allows to increase the efficiency of Ukrainian airports in the current martial law conditions. One of the directions of service cost reduction is the determination of optimum distribution of transport resources for aircraft preparation. It is established that in scientific works considerable attention was paid to the development of airport infrastructure, both military and civil, solution of tasks of effective use of information resources and training of airport personnel, tasks of operational planning at the level of determination of limited technology of systems maintenance, use of digital technologies and construction of models of reliable systems of aircraft transport service. The technological process of transport maintenance of combat aircraft is presented, taking into account the resources involved and the sequence of operations. The process of operational maintenance planning of combat aircraft for maintenance, refueling and ammunition is formalized. According to this process, it is possible to establish the level of influence of the process parameters (the number of resources involved and aircraft serviced) on the evaluation criterion - total costs. Determination of the limitation for the use of available resources with the establishment of the optimal level. An algorithm for determining the optimal number of transport resources, taking into account the conditions of combat aircraft preparation (normal, preliminary preparation and others), the influence of environmental conditions (temperature, time of day), and changes in the normative values of individual resources, is constructed. In accordance with the established sequence of actions, the effectiveness of using the existing technology and the proposed - modular technology, according to certain technological indicators for planning the production process is determined.

Keywords: operational planning, combat aircraft, transport service, algorithm