

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

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ДОСТАВКИ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ БОЙОВИХ ЛІТАКІВ НА ЛЕТОВИЩАХ УКРАЇНИ

У статті представлено методику побудови транспортно-технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування бойових літаків. Побудовано алгоритми раціонального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна та визначення кількості транспортних засобів та засобів аеродромно-технічного обслуговування за запропонованою технологією обслуговування повітряних суден.

Ключові слова: методика, транспортно-технологічна схема, засоби забезпечення, бойовий літак, летовища.

Постановка проблеми

Технічне обслуговування цивільних та військових літаків відіграє велику роль в системі якісних авіаційних перевезень. За відсутності якісного технічного обслуговування більшість частин системи літака зношуються через використання або вік, що призводить до зносу і, зрештою, до виходу з ладу частини, що може поставити під загрозу безпеці. Надійність і безпека, таким чином, є очевидними проблемами цивільної та військової авіації: якщо висока надійність і безпека не можуть бути гарантовані в авіації, можуть бути зазнані серйозні, іноді неприйнятні втрати, наприклад, людські жертви, фінансові втрати тощо [1].

Потреба в якісній оцінці забезпечення на летовищах вимагає пошуку нових підходів та інструментів, які б дозволили з мінімальними витратами ресурсів та фінансових вкладень отримувати результат. Побудова ефективних транспортно-технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування літаків потребує обробки великої кількості даних [2], вибір раціональних рішень при різних видах обслуговування [3], визначення задач маршрутизації в умовах невизначеності та часових обмежень [4]. Тому є потреба в розробці методики побудови відповідних схем, яка б дозволила врахувати особливості функціонування транспортно-технологічного забезпечення бойових літаків на летовищах України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Цифрова трансформація у виробництві та системі обслуговування помітно впливає на різні бізнес-моделі, включаючи технічне обслуговування літаків на летовищах цивільної та військової авіації.

Оператори багатьох авіакомпаній модернізують свою діяльність з технічного обслуговування, ремонту та капітального ремонту з використанням інтегрованих цифрових платформ та інтелектуального аналізу даних для підвищення операційної ефективності щодо використання деталей, простоїв та витрат на обслуговування [5].

Як для цивільних, так і для військових літаків експлуатаційні можливості мають першорядне значення. Нездатність підтримувати таку можливість може призвести до затримки або скасування рейсів (вильотів), що може призвести до фінансових та часових втрат, незручностей та незадоволеності клієнтів або неможливості виконання необхідних завдань. На додаток до спроб уникнути цих небажаних особливостей, експлуатанти повітряних суден повинні також забезпечити виконання відповідних нормативних вимог, щоб повітряне судно відповідало необхідним рівням безпеки [6].

Ряд досліджень використовують різні засоби побудови моделей для пошуку ефективних рішень пов'язаних з побудовою транспортно-технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування різних видів літаків. Так автори ряду статей пропонують: використовувати імітаційну модель на основі агентів для застосування до процесу генерації бойових вильотів літаків [7, 8]; моделі навчання Гаусівського процесу, які швидко проводять попередню оцінку нових планів процесу доставки засобів забезпечення при технічному обслуговуванні [9]; використовувати в [10] точну модель змішано-цілочисельного програмування, яка включає поліноміальну кількість змінних та обмежень, яка забезпечує високоякісні рішення, вимагаючи при цьому короткого часу розрахунку; компактну оптимізаційну модель для підтримки прийняття рішень щодо технічного обслуговування повітряних суден та

можливість підвищення класу обслуговування відповідно до їх впливу на експлуатаційні витрати [11, 12]; оцінку безпеки та ефективності стратегій технічного обслуговування літаків за допомогою агентного моделювання, стохастично та динамічно пофарбованих мереж Петрі та моделювання методом Монте-Карло [13, 3, 14].

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є розробка методики побудови транспортно-технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування бойових літаків на аеродромах України. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити задачу:

- розробити алгоритм раціонального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряно-судна на аеродромах України;
- розробити алгоритм розрахунку кількості транспортних засобів та засобів аеродромно-технічного обслуговування за запропонованою технологією обслуговування повітряних суден.

Виклад основного матеріалу

Розробка алгоритму раціонального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна на аеродромах України базується на результатах імітаційного моделювання процесу обслуговування повітряних суден при різних умовах обслуговування (час доби та природно-кліматичних умов, що впливають на час обслуговування повітряного судна та на час руху транспортних засобів по маршрутах перевезень). Існуючі методики розрахунку кількості транспортних засобів для обслуговування літаків не враховують стохастичність транспортного та технологічного обслуговування, або поломок і виходу з ладу транспортних засобів та спеціального обладнання для заправки, поповнення боєкомплекту або обслуговування, що призводить до збоїв у ході обслуговування повітряних суден та підвищення вартості таких робіт і загального зниження боєздатності Повітряних Сил Збройних Сил України. Загальна блок-схема імітаційної моделі представлена на рисунку 1.

Розроблена модель дозволяє докладно досліджувати роботу автомобілів і процес обслуговування повітряних суден, одержувати відомості про виникнення черг у певний період часу або простої повітряних суден в очікуванні обслуговування.

В імітаційній моделі моделюються: час прибуття автомобілів під навантаженням, час їхнього знаходження на вантажно-розвантажувальному пункті, час руху до повітряних суден, час обслуговування і час зворотного руху.

Вихідні дані про процес обслуговування повітряних суден для імітації роботи підготовлюються у вигляді файлу після визначення необхідної кількості

обслуговуючих транспортних засобів та кількості повітряних суден, що потребують обслуговування.

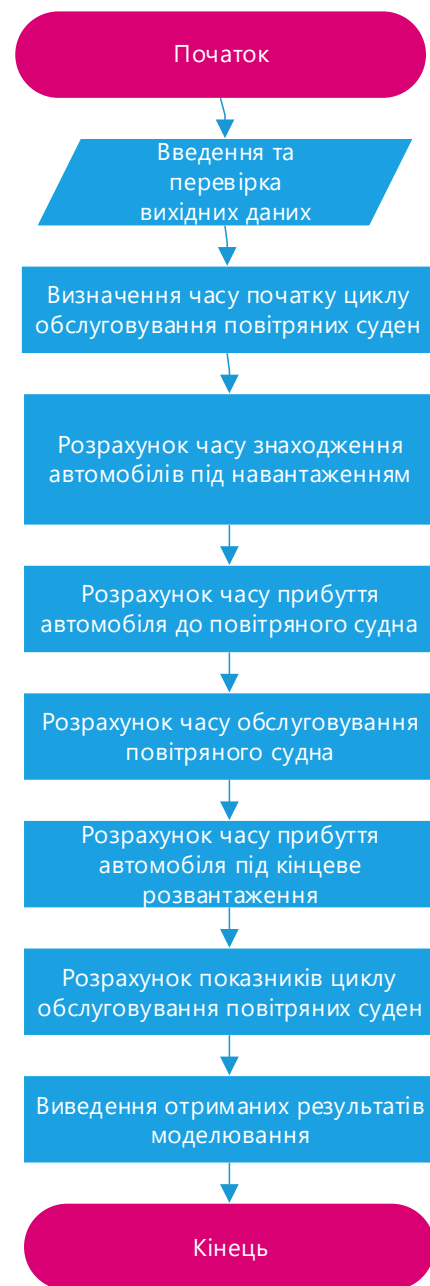


Рис. 1. Загальна блок-схема імітаційної моделі

Даними, які вводяться з файлу, є: задана кількість обслуговуючих транспортних засобів; кількість повітряних суден, що потребують обслуговування; сумарна кількість їздок по запланованих маршрутах; значення часу навантаження на навантажувальному пункті та час обслуговування повітряних суден; значення швидкості руху, закладеної при розрахунку; матриця відстаней перевезень по кожному маршруті, матриця часу виїзду кожного автомобіля з пункту навантаження, матриця порядку виконання їздок для кожного автомобіля по маршрутах (табл.1).

Таблиця 1
Матриця порядку виконання робіт

№ авто	№ їздки				
	J	J+1	J+2	...	Z
I	$M_{(i,j)}$	$M_{(i,j+1)}$	$M_{(i,j+2)}$	...	$M_{(i,z)}$
I+1	$M_{(i+1,j)}$	$M_{(i+1,j+1)}$	$M_{(i+1,j+2)}$	...	$M_{(i+1,z)}$
I+2	$M_{(i+2,j)}$	$M_{(i+2,j+1)}$	$M_{(i+2,j+2)}$	...	$M_{(i+2,z)}$
...	...	...	...	...	...
N	$M_{(n,j)}$	$M_{(n,j+1)}$	$M_{(n,j+2)}$	...	$M_{(n,z)}$

У таблиці 1 вказується номер маршруту, по якому повинен відправитися i -й автомобіль на j -й їзді, причому кількість їздок у автомобілів може бути різною, якщо i -й автомобіль закінчує роботу після j -й їздки, то в графі $(i+1, j+1)$ буде стояти нуль.

Інші вихідні дані, якими дослідник може вартувати на даному етапі, є: середнє значення часу обслуговування на вантажно-розвантажувальному пункті та час обслуговування повітряного судна, середньоквадратичне відхилення часу навантаження й обслуговування повітряного судна, середньоквадратичне відхилення швидкості руху автомобілів. На цьому етапі виконується розрахунок планованих показників роботи, таких як, планований час прибуття до повітряних суден та під навантаження, час роботи автомобілів, час роботи вантажно-розвантажувального пункту, які розраховуються без обліку випадкових факторів за середніми значеннями.

При імітації роботи, приймаємо, що швидкість руху автомобілів, час навантаження та обслуговування повітряних суден є випадковими величинами, розподіленими за нормальним законом із заданими параметрами розподілу.

Одним з найбільш універсальних методів одержання випадкових чисел з довільним законом розподілу є метод Неймана. Для одержання випадкових чисел по цьому методі потрібно, щоб можливі значення випадкової величини не виходили за межі деякого обмеженого інтервалу (a, b) . У цьому випадку випадкові величини розподілені за нормальним законом, що характеризується щільністю ймовірності

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(t-a)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1)$$

де t – випадкова величина;

σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини;

a – математичне очікування випадкової величини.

Визначаємо випадкову величину t , та отримане значення використаємо як швидкість руху автомобіля з пункту постійної дислокації до вантажно-розвантажувального пункту. Час прибуття i – го автомобіля під навантаження визначаємо по формулі

$$T_{приб_i} = T_{від_i} + l / V_T, \quad (2)$$

де $T_{від_i}$ – час відправлення i – го автомобіля з місця постійної дислокації, год. хв.;

l – відстань від місця постійної дислокації до вантажно-розвантажувального пункту, км;

V_T – технічна швидкість руху транспортного засобу, км/год.

Таким чином, одержуємо матрицю прибуття всіх автомобілів під перше навантаження.

Аналогічно одержанню швидкості руху, знаходимо час перебування t_n i -го автомобіля під навантаженням, що описується нормальним законом розподілу.

З моменту постановки i -го автомобіля під навантаження, пункт навантаження відповідного вантажу вважається зайнятим, і до закінчення навантаження i -го автомобіля ніякий інший автомобіль не може бути обслугований. Часом звільнення поста навантаження $T_{зв}$ є вибуття i – го автомобіля до повітряного судна:

$$T_{уб_i} = T_{приб_i} + t_{n_i}, \quad (3)$$

$$T_{зв_i} = T_{уб_i}. \quad (4)$$

Для кожного наступного автомобіля можливість його обслуговування по прибуттю визначається умовою

$$T_{приб_i} \geq T_{зв_{i-1}}. \quad (5)$$

Аналогічним чином визначається ймовірність обслуговування j -го повітряного судна i -м автомобілем.

Імітація роботи автомобілів і обслуговування повітряних суден проводиться до закінчення обслуговування усіх запланованих циклів.

Всі дані, отримані в результаті моделювання, порівнюються з даними про плановані значення прибуття під навантаження та обслуговування. В результаті порівняння отриманих значень можливо дослідити динаміку виникнення черг та визначити можливість виконання запланованих циклів обслуговування.

Розглянемо технологію виконання доставки засобів аеродромно-технічного обслуговування. В началі процесу планування засоби знаходяться в місцях їх постійної дислокації, та завантажуються технологічними вантажами в незалежності від потреби в обслуговуванні повітряних суден. При обслуговуванні літаків, визначається необхідна кількість конкретних засобів за методикою, що представлена в роботі [15].

Після визначення необхідної кількості конкретних засобів аеродромно-технічного обслуговування виконуються розрахунки планових показників виконання циклів обслуговування. На наступному етапі виконується імітаційне моделювання процесу обслуговування повітряних суден. Результати моделювання порівнюються з плановими показниками та визначаються граничні значення обслуговування відповідних повітряних суден. При умові недотримання граничних нормативних значень часу обслуговування повітряних суден робиться висновок про необхідність збільшення кількості відповідних транспортних засобів та засобів аеродромно-технічного обслуговування. Після збільшення кількості проводиться повторна імітація з визначенням відповідних показників.

Загальна блок-схема розрахунку кількості транспортних засобів та засобів аеродромно-технічного обслуговування за запропонованою технологією обслуговування повітряних суден представлена на рисунку 2.

Висновки

Розроблено алгоритм раціонального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна на летовищах України, що базується на результатах імітаційного моделювання процесу обслуговування повітряних суден при різних умовах обслуговування (час доби та природно-кліматичних умов, що впливають на час обслуговування повітряного судна та на час руху транспортних засобів по маршрутах перевезень).

На основі розробленого алгоритму раціонального розподілу транспортних ресурсів для підготовки бойового літака запропонована технологія обслуговування повітряних суден на летовищах України у якій зазначено послідовність операцій, що направлені на визначення та порівняння нормативних значень тривалості обслуговування відповідних повітряних суден з розрахунковими та визначення раціональної їх кількості.

За запропонованою методикою далі планується розробка імітаційної моделі процесу доставки засобів забезпечення для обслуговування бойових літаків.

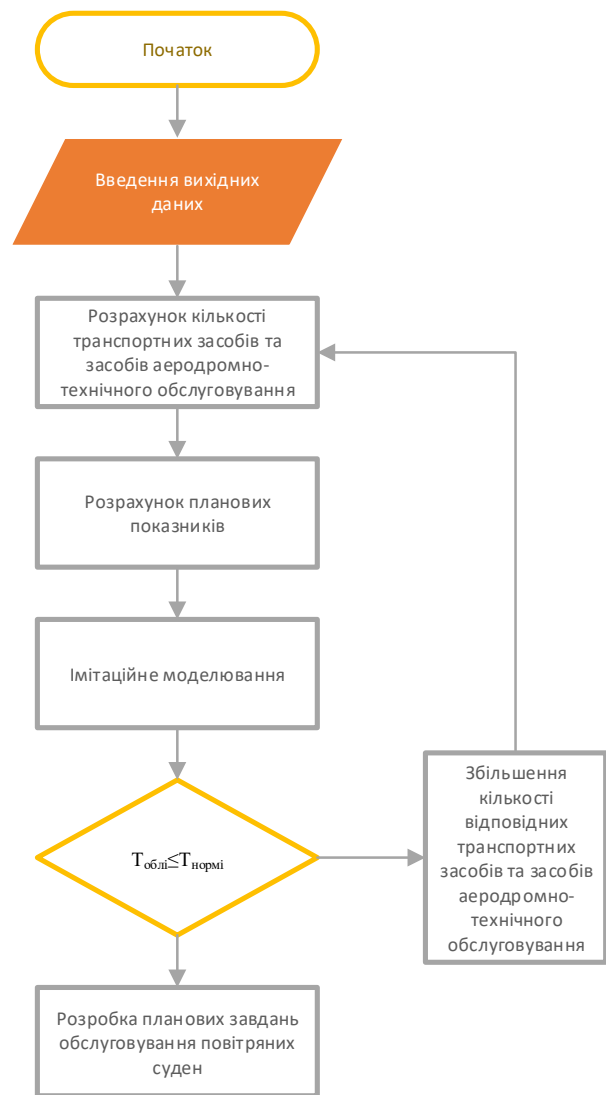


Рис. 2. Загальна блок-схема розрахунку кількості транспортних засобів та засобів аеродромно-технічного обслуговування

Література

1. Hríz, M., Pecho, P., Mariášová, T. & Bugaj, M. (2020). Innovative changes in maintenance strategies of ATO's aircraft based on their operational status, *Transportation Research Procedia*, 51, 261-270.
2. Kála, M., Žember, M. & Lališ, A. (2020). Development of a tool for access worktime estimation in aircraft maintenance, *Transportation Research Procedia*, 51, 46-55.
3. Sheng, J. & Prescott, D. (2019). A coloured Petri net framework for modelling aircraft fleet maintenance, *Reliability Engineering & System Safety*, 189, 67-88.
4. Cui, R., Dong, X. & Lin, Y. (2019). Models for aircraft maintenance routing problem with consideration of remaining time and robustness, *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106045.
5. Tsakalerou, M., Nurmaganbetov, D. & Beltenov, N. (2022). Aircraft Maintenance 4.0 in an era of disruptions, *Procedia Computer Science*, 200, 121-131.
6. Prescott, D. & Andrews, J. (2010). Modelling the Use of Maintenance to Minimise Aircraft Service Disruption, *IFAC Proceedings Volumes*, 43(3), 44-49.
7. MacKenzie, A., Miller, J.O., Hill, R.R. & Chambal, S.P. (2012). Application of agent based modelling to aircraft

maintenance manning and sortie generation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 20(1), 89-98.

8. 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.

9. Lee, J. & Mitici, M. (2022). Multi-objective design of aircraft maintenance using Gaussian process learning and adaptive sampling, *Reliability Engineering & System Safety*, 218(A), 108123

10. Al-Thani, N.A., Ben Ahmed, M. & Haouari, M. (2016). A model and optimization-based heuristic for the operational aircraft maintenance routing problem, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 72, 29-44.

11. Munari, P. & Alvarez, A. (2019). Aircraft routing for on-demand air transportation with service upgrade and maintenance events: Compact model and case study, *Journal of Air Transport Management*, 75, 75-84

12. Калініченко, О.П. Оперативне планування процесу транспортного обслуговування бойових літаків на летовищах України / О.П. Калініченко, О.В. Павленко, І.О. Солдатенко // *Комунальне господарство міст.* - 2022. - 171. - С. 173-178

13. Lee, J. & Mitici, M. (2020). An integrated assessment of safety and efficiency of aircraft maintenance strategies using agent-based modelling and stochastic Petri nets, *Reliability Engineering & System Safety*, 202, 107052.

14. Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Lavrentieva, O. & Filatov, S. (2020). The procedures of logistic transport systems simulation into the petri nets environment, *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 854-868.

15. Запорожець, А. С. Розробка теоретичних основ технології наземного транспортного забезпечення на летовищах України. Частина 3. Розробка технології визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна на летовищах України : дипломна робота ... магістра : 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) / Запорожець Альона Сергіївна. – Харків : ХНАДУ, 2021. – 90 с. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/4882>

References

1. Hruz, M., Pecho, P., Mariášová, T. & Bugaj, M. (2020). Innovative changes in maintenance strategies of ATO's aircraft based on their operational status, *Transportation Research Procedia*, 51, 261-270.

2. Kála, M., Žember, M. & Lališ, A. (2020). Development of a tool for access worktime estimation in aircraft maintenance, *Transportation Research Procedia*, 51, 46-55.

3. Sheng, J. & Prescott, D. (2019). A coloured Petri net framework for modelling aircraft fleet maintenance, *Reliability Engineering & System Safety*, 189, 67-88.

4. Cui, R., Dong, X. & Lin, Y. (2019). Models for aircraft maintenance routing problem with consideration of remaining time and robustness, *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106045

5. Tsakalerou, M., Nurmaganbetov, D. & Beltenov, N. (2022). Aircraft Maintenance 4.0 in an era of disruptions, *Procedia Computer Science*, 200, 121-131.

6. Prescott, D. & Andrews, J. (2010). Modelling the Use of Maintenance to Minimise Aircraft Service Disruption, *IFAC Proceedings Volumes*, 43(3), 44-49.

7. MacKenzie, A., Miller, J.O., Hill, R.R. & Chambal, S.P. (2012). Application of agent based modelling to aircraft maintenance manning and sortie generation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 20(1), 89-98.

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

9. Lee, J. & Mitici, M. (2022). Multi-objective design of aircraft maintenance using Gaussian process learning and adaptive sampling, *Reliability Engineering & System Safety*, 218(A), 108123

10. Al-Thani, N.A., Ben Ahmed, M. & Haouari, M. (2016). A model and optimization-based heuristic for the operational aircraft maintenance routing problem, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 72, 29-44.

11. Munari, P. & Alvarez, A. (2019). Aircraft routing for on-demand air transportation with service upgrade and maintenance events: Compact model and case study, *Journal of Air Transport Management*, 75, 75-84

12. O. Kalinichenko, O. Pavlenko, I. Soldatenko (2022). Operational planning of the process of transport maintenance of combat aircraft at ukrainian airfields. *Municipal economy of cities*, 171, 173-178.

13. Lee, J. & Mitici, M. (2020). An integrated assessment of safety and efficiency of aircraft maintenance strategies using agent-based modelling and stochastic Petri nets, *Reliability Engineering & System Safety*, 202, 107052.

14. Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Lavrentieva, O., & Filatov, S. (2020). The procedures of logistic transport systems simulation into the petri nets environment, *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 854-868.

15. Zaporozhets, A. (2021). Development of the theoretical foundations of ground transportation technology at Ukrainian airports. Part 3. Development of technology for determining the optimal distribution of transport resources for the preparation of an aircraft at the airports of Ukraine. Retrieved from <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/4882>

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

Автор: НАГОРНИЙ Євген Васильович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – ktt@khadi.kharkov.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9813-2479>

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 – tpov@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>

METHODOLOGY OF CONSTRUCTION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SCHEMES OF DELIVERY OF SUPPORT MEANS FOR MAINTENANCE OF COMBAT AIRCRAFT AT THE AIRPORTS OF UKRAINE

Y. Nagorny, O. Kalinichenko, O. Pavlenko, I. Soldatenko

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The article analyzed the existing methods of building technologies for the maintenance of civil and military aircraft and identified mathematical methods that can be used to study the prospects for the development of aircraft maintenance systems, which allowed to form the purpose of the study in this development. The chosen topic is quite relevant, because the formation of transport and technological schemes for the delivery of support for the maintenance of combat aircraft can increase the efficiency of resource use and reduce the time for training at Ukrainian airports in a conflict situation. One of the ways to reduce maintenance time is to determine the effective distribution of transport and technical means for the preparation of aircraft. It was established that in the scientific developments of foreign scientists, solutions were proposed related to the construction of transport and technological schemes for the delivery of support for the maintenance of various types of aircraft. Most of these solutions were aimed at using agent-based simulation models for application to the process of generating combat sorties of aircraft - this made it possible to process a large amount of data and generate management decisions in the transport service system. Also, most authors propose to take into account the conditions of uncertainty and time constraints when building a methodology to improve the efficiency of aircraft maintenance. An algorithm for the rational distribution of transport resources for aircraft preparation at Ukrainian airports has been developed, based on the results of simulation modeling of the aircraft maintenance process under different service conditions (time of day and climatic conditions that affect the time of aircraft maintenance and the time of movement of vehicles along transportation routes). On the basis of the developed algorithm of rational distribution of transport resources for aircraft preparation, the technology of aircraft maintenance at Ukrainian airports is proposed, which indicates the sequence of operations aimed at determining and comparing the normative values of the duration of maintenance of the corresponding aircraft with the calculated values and determining their rational number.

Keywords: methodology, transport and technological scheme, means of support, combat aircraft, airports.