

А. А. ВІЧИСТИЙ<sup>1</sup>, А. М. ГУМЕННИЙ<sup>1</sup>, О. Д. ПІДЛІСНИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна*

<sup>2</sup> *Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна*

## ОСНОВНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Предметом дослідження статті є створення математичної моделі процесу технічної експлуатації (ПТЕ) літака військового призначення в системі інформаційної підтримки експлуатації повітряного судна (ПС). ПС являє собою складну технічну систему, у складі якої безліч систем, підсистем та елементів, для надійного й безвідмовного функціонування яких необхідний постійний моніторинг його технічного стану з метою визначення можливості використання за призначенням. Пропонується змодельовувати ПТЕ в системі інформаційної підтримки експлуатації ПС, що працює в реальному масштабі часу, і створити математичну модель процесу. Для опису ПТЕ ЛА побудуємо граф станів і переходів, скориставшись матрицею переходів. Метою дослідження є створення математичної моделі ПТЕ літака військового призначення в системі інформаційної підтримки експлуатації ПС, що працює в реальному масштабі часу. Завдання: визначити роль і переваги використання математичної моделі ПТЕ літака військового призначення в системі інформаційної підтримки експлуатації ПС типу СММС, що працює в реальному масштабі часу, для використання її в здійсненні прогнозування ефективності ПТЕ та керування ним. Наукова і практична новизна отриманих результатів полягає в такому: визначено переваги математичної моделі ПТЕ літака військового призначення в системі інформаційної підтримки експлуатації ПС типу СММС, що працює в реальному масштабі часу, перед моделлю ПТЕ за ресурсом і моделлю, коли рішення приймаються в момент зміни стану. Висновком цієї роботи є те, що використання запропонованої моделі ПТЕ дасть змогу в реальному масштабі часу, тобто безперервно, проводити оцінювання комплексних показників надійності. У розглянутій моделі ПТЕ літака військового призначення враховуються всі особливості експлуатації військових ПС на сучасному етапі. Це дає змогу припустити можливість її використання для всього літакового парку ПС Повітряних Сил Збройних Сил України.*

*Ключові слова:* складна технічна система; технічна експлуатація; граф переходу в стани; процес технічної експлуатації; математична модель; напівмарковський процес; стохастична модель.

### Вступ

Складна технічна система (СТС) поєднує в собі велику кількість функціонально зв'язаних систем, підсистем та елементів зі складними зв'язками між ними. СТС є досить поширеними і характеризуються значною різноманітністю. Одним із видів СТС є повітряне судно (ПС). ПС – це складна технічна система, яка потребує постійного моніторингу його технічного стану з метою визначення можливості використання за призначенням.

Літаковий парк ПС військового призначення експлуатується вже понад 30 років. Призначені заводом-виробником терміни експлуатації закінчились. Авторський нагляд за військовою технікою, яка експлуатується Повітряними Силами Збройних Сил України не здійснюється.

З початком повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України особливо

актуальним стало вирішення питання подальшої експлуатації таких літальних апаратів (ЛА).

Для ПС, особливо військового призначення, основним завданням є підтримання на заданому рівні комплексних показників надійності СТС та готовності до виконання бойових завдань у будь-який момент часу. При цьому стосовно систем військового призначення відзначимо, що готовність системи до негайного використання за призначенням розуміється незалежно від того, є система відновлюваною чи невідновлюваною. Необхідно, щоб з певного запланованого моменту часу система виконувала задані функції.

### Постановка проблеми

Процес технічної експлуатації (ПТЕ) є складним і багатограним процесом, для ефективного функціонування якого необхідно враховувати безліч

чинників. До них належать вплив умов експлуатації на стан ПС та фактори зовнішнього середовища, які впливають на ПТЕ ПС військового призначення.

Для визначення ефективності процесу з підтримання заданого рівня безпеки польотів, технічного використання та готовності до використання необхідно змоделювати ПТЕ в системі інформаційної підтримки експлуатації ПС, що працює в реальному масштабі часу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наказом Міністерства Оборони України від 05.07.2016 року № 343 визначено основні критерії для визначення готовності АТ та інженерно-авіаційної служби (ІАС) до виконання завдань за призначенням. Готовність ІАС до виконання завдань за призначенням визначається укомплектованістю й рівнем підготовки інженерно-технічного складу, наявністю й готовністю засобів експлуатації та ремонту АТ до використання за призначенням [1].

Основні показники, що використовуються для оцінювання коефіцієнтів справності та готовності ПС до виконання завдань за призначенням, визначені у Випуску Міністерства Оборони України 1042, введеного в дію Технічним розпорядженням № 285(000) начальника озброєння ВПС України від 28 липня 2000 року [2].

Аналіз літератури, що стосується питання моделювання ПТЕ, показав, що існує безліч шляхів зі створення моделі ПТЕ військового ПС:

- модель ПТЕ за ресурсом, яка ґрунтується на статистиці випадкових величин [4];
- модель ПТЕ за технічним станом, що ґрунтується на статистиці випадкових процесів [3, 8];
- у процесі експлуатації авіаційних систем для підвищення їх бойової готовності та надійності складно мати оптимальні алгоритми для програм

експлуатації за станом з огляду на специфіку роботи системи (рішення приймаються в момент зміни стану). Для опису зміни станів у цьому випадку використовується марковська модель [6, 7];

- модель експлуатації складної технічної системи з надлишковістю за надійністю (з резервуванням елементів системи). Для опису процесів, що відбуваються в системі, використовується теорія напівмарковських процесів [7].

Зважаючи на зазначене вище, на нашу думку, найбільш змістовною та ефективною є модель напівмарковських процесів.

### Виклад основного матеріалу досліджень

Загалом процес експлуатації можна поділити на такі етапи: технічна експлуатація, оцінювання технічного стану і відновлювальні роботи (рис. 1).

Змістовний опис процесу експлуатації літального апарата розглянемо для справного ПС [9, 10].

Льотна експлуатація ПС не деталізується. При цьому в інформаційній системі будуть враховуватися два фактори:

- польотний час (для Су напрацювання в годинах);
- дані засобів об’єктивного контролю – допустимі умови експлуатації.

Технічну експлуатацію можна поділити на чотири етапи:

- планування роботи;
- підготовка до виконання робіт;
- виконання робіт;
- одержання результату виконання робіт.

ПТЕ являє собою послідовну в часі зміну різноманітних станів експлуатації.

Стани, у яких може перебувати ПС, такі:

- П – використання за призначенням (політ);
- Опп – очікування підготовки до польотів;
- Опр – очікування періодичних робіт;

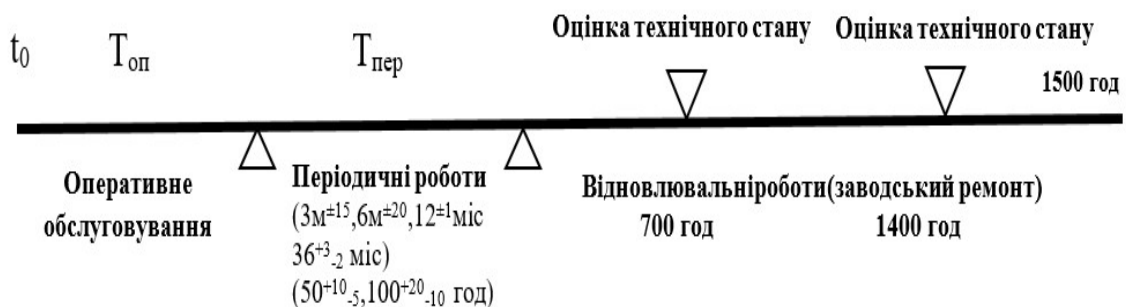


Рис. 1. Етапи процесу експлуатації повітряного судна військового призначення

- О<sub>р</sub> – очікування ремонту;
- ПП – підготовка до польотів:
  - ПП<sub>А</sub> – передполітна підготовка,
  - ПП<sub>Б</sub> – підготовка до повторного вильоту,
  - ПП<sub>В</sub> – післяполітна підготовка;
- ПР – періодичні роботи:
  - ПР<sub>А</sub> – виконуються з періодичністю 3 міс. ± 15 дн. (50<sup>+10</sup><sub>-5</sub> год нальоту),
  - ПР<sub>Б</sub> – виконуються з періодичністю 6 міс. ± 20 дн. (100<sup>+20</sup><sub>-10</sub> год нальоту),
  - ПР<sub>В</sub> – виконуються з періодичністю 12 міс. ± 1 міс.;
  - ПД – парковий день із періодичністю 15 міс. ± 3 дн.;
  - РР – регламентні роботи з періодичністю 36<sup>+3</sup><sub>-2</sub> міс.;
  - РЗ – роботи зі зберігання:
    - РЗ<sub>А</sub> – виконуються з періодичністю 3 міс. ± 15 дн.,
    - РЗ<sub>Б</sub> – виконуються з періодичністю 6 міс. ± 20 дн.,
    - РЗ<sub>В</sub> – виконуються з періодичністю 12 міс. ± 1 міс.
  - Р<sub>АРЗ</sub> – ремонт на АРЗ:
    - Р<sub>АРЗ А</sub> – виконуються з періодичністю 700 год напрацювання ПС,
    - Р<sub>АРЗ Б</sub> – виконуються з періодичністю 1400 год напрацювання ПС;
  - Д – доопрацювання за бюлетенями;
  - Р<sub>ПР</sub> – реклаमाції промисловості;
  - У<sub>н</sub> – усунення несправностей;
  - З<sub>дв</sub> – заміна двигуна;
  - В<sub>зч</sub> – відсутність запасних частин;
  - Р<sub>зд</sub> – роботи із заміни двигуна;
  - ОВ<sub>р</sub> – простій у резерві;
  - ОВ<sub>ІАС</sub> – затримка вильоту з вини ІАС;
  - ОВ<sub>нвч</sub> – невикористаний час;
  - ОВ<sub>м</sub> – затримка вильоту через метеоумови;
  - ЗВ – затримка вильоту.

Розглянемо довільний проміжок часу та математично опишемо переходи ЛА з одного стану в інший. Для цього позначимо:  $t_1$  – час, що відповідає початку деякого стану ПТЕ, а  $t_2$  – його закінченню. Тоді  $X = t_2 - t_1$  – тривалість стану. Довжина інтервалу  $X$  – випадкова величина.

Увесь процес ПТЕ характеризується скінченною множиною станів  $\Delta$ . Позначимо:  $\delta_j$  – стан процесу,  $j$  – порядковий номер стану.

Будемо вважати, що:

- 1) зміна стану ПТЕ проходить послідовно і безперервно;
- 2) переходи зі стану в стан відбуваються миттєво.

Як характеристики переходу із  $j$ -го стану в  $k$ -й стан візьмемо відносні частоти  $P_{jk}$  переходів літака з  $j$ -го стану в  $k$ -й стан, де  $k \in \Delta$ .

Для моделювання ПТЕ ЛА найбільш детальними є напівмарковські моделі, характеристиками яких є частоти переходу зі стану в стан  $\|P_{ij}\|$  і вектор частот попадання в стан  $\{\pi_i\}$ .

Для визначення цих характеристик на досить великому фіксованому інтервалі часу спостереження  $T_H$  за процесом технічної експлуатації необхідно знайти кількість попадань процесу в  $j$ -й стан і кількість прямих переходів із  $j$ -го стану в  $k$ -й стан. Тоді  $P_{jk}$  для кожного зі станів –  $j, k \in \Delta$  можна визначити таким чином:

$$P_{jk} = \frac{n_{jk}}{n_j}, \quad (1)$$

де  $P_{jk}$  – частота переходу зі стану  $j$  в стан  $k$ ;

$n_{jk}$  – кількість прямих переходів із  $j$ -го стану в  $k$ -й стан;

$n_j$  – кількість попадань процесу в  $j$ -й стан.

Склавши матрицю частот переходів  $\|P_{ij}\| = \bar{P}$ , одержимо опис структури цього ПТЕ [9]. Доведено, що ПТЕ має властивості стаціонарності й ергодичності, тому за допомогою матриці  $\|P_{ij}\| = \bar{P}$  можна визначити частоти  $\{\pi_i\}$  попадання об'єктів у  $j$ -й стан ПТЕ за час  $T_{Hj} \in \Delta$ :

$$\pi_j = \frac{n_j}{\sum_{k=1}^N n_k}, \quad (2)$$

де  $\pi_i$  – частота попадання об'єктів у  $j$ -й стан ПТЕ за час  $T_{Hj}$ ;

$N$  – загальна кількість станів в інтервалі  $T_H$ .

Зі значень  $\pi_j$ , одержаних зі всіх  $N$  станів, складемо однострічкову таблицю частот  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ , вектора станів.

Таким чином, сукупність множини  $\Delta \{x_i\}$ , матриці  $P$  і вектора  $\pi$  є математичною моделлю ПТЕ ЛА. Основною особливістю матриці  $P$  є те, що сума елементів кожного її рядка дорівнює одиниці:

$$\sum_{k=1}^N P_{jk} = 1.$$

Для опису ПТЕ ЛА побудуємо граф станів і переходів, скориставшись матрицею переходів (рис. 2).

Запропонована модель ПТЕ дає змогу моделювати процес технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р) на майбутнє, тобто здійснювати прогнозування ефективності ПТЕ та керувати ним.

Показники функціональної надійності систем у реальному масштабі часу пов'язані не тільки з готовністю системи до виконання завдань за призначенням у довільний проміжок часу його надходження (визначається за показником готовності). Для систем у реальному масштабі часу необхідною також є своєчасність виконання завдання, що оцінюється

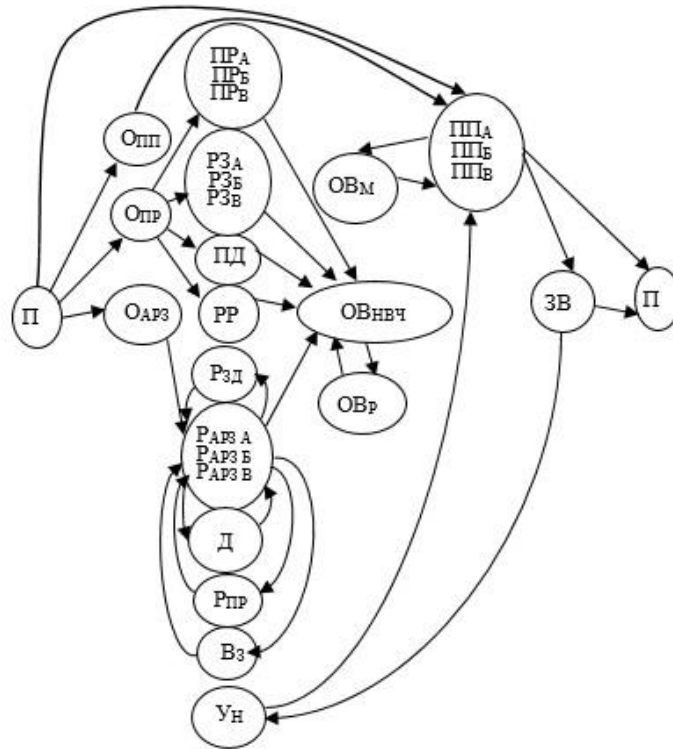


Рис. 2. Граф переходу в стани літака Су-25

ймовірністю виконання завдання за час, менший за максимально допустимий, тобто ймовірність того, що в необхідний момент часу завдання буде виконано. Отже, для системи інформаційної підтримки експлуатації типу CMMS, яка працює в реальному масштабі часу, комплексні показники надійності необхідно обчислювати безперервно. Таким чином, для оцінювання показників надійності одержуємо характеристику не за окремими точками, а як функцію від часу (терміну експлуатації), що дасть можливість підтримувати їх на заданому рівні.

## Висновки

Для ПС військового призначення кінцевим результатом експлуатації є досягнення та постійне підтримання заданого рівня готовності в будь-який момент часу виконати поставлене завдання відповідно до функціонального призначення. Використання запропонованої моделі ПТЕ дасть змогу в реальному масштабі часу, тобто безперервно, проводити оцінювання комплексних показників надійності.

У розглянутій моделі ПТЕ літака військового призначення враховуються всі особливості експлуатації військових ПС на сучасному етапі. Це дає змогу припустити можливість її використання для всього літакового парку ПС Повітряних Сил Збройних Сил України.

**Внесок авторів:** формулювання проблеми – **А. М. Гуменний, А. А. Вічистий**; огляд та аналіз інформаційних джерел – **А. А. Вічистий, О. Д. Підлісний**; розроблення математичних моделей та аналізу результатів дослідження – **А. А. Вічистий, А. М. Гуменний**; формулювання висновків – **А. М. Гуменний, А. А. Вічистий, О. Д. Підлісний**.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

## Література

1. Правила інженерно-авіаційного забезпечення Державної авіації України (ПрІАЗ-2016) : Наказ Міністерства Оборони України від 05.07.2016 року №343. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1101-16>. – 10.05.2023.
2. Випуск 1042: Введений в дію Технічним розпорядженням № 285(000) начальника озброєння ВПС України від 28 липня 2000 року.
3. Про затвердження Порядку експлуатації за технічним станом виробів авіаційної техніки державної авіації, за якими розробник (виробник) не виконує своїх обов'язків із супроводження експлуатації та підтримання льотної придатності [Текст]: Наказ Міністерства оборони України від 19.12.2014 року № 904 / Міністерство оборони України. – К. : Видавництво Міністерства оборони

України, 2014. – 14 с. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0010-15>. – 10.05.2023.

4. Про затвердження Порядку продовження (збільшення) встановлених показників виробів авіаційної техніки державної авіації, за якою не здійснюється авторський нагляд [Текст] : Наказ Міністерства оборони України від 16.02.2015 року № 68 / Міністерство оборони України. – К. : Видавництво Міністерства оборони України, 2015. – 13 с. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0244-15>. – 10.05.2023.

5. Модели технического обслуживания систем с избыточностью [Текст] / Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, М. И. Резников, В. В. Зубарев. – Киев : Феникс, 2002. – 192 с.

6. Креденцер, Б. П. Надежность систем с двумя типами отказов при наличии временной избыточности [Текст] / Б. П. Креденцер // Автомат. и телемех. – 1978. – Выпуск 4. – С. 169-176.

7. Гришин, В. М. Вибір класу моделі і методу математичного моделювання процесу технічної експлуатації літальних апаратів військового призначення [Текст] / В. М. Гришин, О. І. Скляр // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2022. – Вип. 18 (25). – С. 134-140. DOI: 10.54858/dndia.2022-18-21.

8. Коваленко, І. Н. Вероятностный расчет и оптимизация [Текст] / И. Н. Коваленко. – К. : Наукова думка, 1989. – 192 с. – Режим доступу: [https://library.znu.edu.ua/newbook/index.php?action=url/view&url\\_id=50221](https://library.znu.edu.ua/newbook/index.php?action=url/view&url_id=50221). – 10.05.2023.

9. Barszcz, P. System Informatycznego Wsparcia Eksploatacji Wojskowych Statków Powietrznych [Text] / P. Barszcz, P. Gołda, & M. Zieja // Logistyka. – 2012. – Vol. 4. – P. 47-56. – Available at: <https://bazekon.uek.krakow.pl/rekord/171600681>. – 10.05.2023.

10. Kaleta, R. System informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP [Text] / R. Kaleta, M. Zieja, & M. Witoś // Logistyka. – 2014. – Vol. 6. – P. 5094-5103. Available at: [https://www.academia.edu/11699699/System\\_informatycznego\\_wsparcia\\_Lotnictwa\\_Si%C5%82\\_Zbrojnych\\_RP\\_IT\\_Support\\_for\\_aviation\\_of\\_Armed\\_Forces\\_of\\_Republic\\_of\\_Poland\\_](https://www.academia.edu/11699699/System_informatycznego_wsparcia_Lotnictwa_Si%C5%82_Zbrojnych_RP_IT_Support_for_aviation_of_Armed_Forces_of_Republic_of_Poland_) – 10.05.2023.

## References

1. Pravyla inzhenerno-aviatsiinogo zabezpechennia Derzhavnoi aviatsii Ukrainy (PrIAZ-2016): Zatverdzhenni nakazom Ministerstva obrony Ukrainy vid 05.07.2016 roku # 343 [Rules of engineering and aviation support of the State Aviation of Ukraine (PrIAZ-2016): Approved by order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 07/05/2016 No. 343]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1101-16> (accessed 10.05.2023). (In Ukrainian).

2. Vypusk 1042: Vvedeni v diiu Technichnym rozporiadzhenniam #285(000) nachalnyka ozbroiennia VPS Ukrainy vid 28 lypnia 2000 roku [Issue 1042: Entered into force by Technical Order No. 285(000) of the Chief of Weapons of the Air Force of Ukraine dated July 28, 2000.] (In Ukrainian).

3. Pro zatverdzhennia Poriadru ekspluatatsii za tekhnichnym stanom vyrobiv aviatsiynoi tekhniki derzhavnoi aviatsii, za yakymu rozrobnyk (vyrobnyk) ne vykonuie svoikh oboviazkiv iz suprovodzhennia ekspluatatsii ta pidtrymanna liotnoi prydatnosti. Nakaz Ministerstva obrony Ukrainy vid 19.12.2014 roku # 904 / Ministerstvo obrony Ukrainy [On the approval of the Procedure for operation according to the technical condition of the aircraft equipment of the state aviation, according to which the developer (manufacturer) does not fulfill its obligations to support the operation and maintenance of airworthiness. Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated December 19, 2014 No. 904 / Ministry of Defense of Ukraine]. Kyiv, Ministerstvo obrony Ukrainy Publ., 2014. 14 p. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0010-15> (accessed 10.05.2023). (In Ukrainian).

4. Pro zatverdzhennia Poriadru prodovzhennia (zbilshennia) vstanovlenykh pokaznykiv vyrobiv aviatsiynoi tekhniki derzhavnoi aviatsii, za yakoiu ne zdiisniuietsia avtorskyi nagliad. Nakaz Ministerstva obrony Ukrainy vid 16.02.2015 roku # 68 / Ministerstvo obrony Ukrainy [On the approval of the Procedure for the extension (increase) of the established indicators of state aviation aircraft products, which are not supervised by the author. Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated February 16, 2015 No. 68 / Ministry of Defense of Ukraine]. Kyiv, Ministerstvo obrony Ukrainy Publ., 2015. 13 p. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0244-15> (accessed 10.05.2023). (In Ukrainian).

5. Kredentser, B. P., Lienkov, S. V., Rieznikov, M. I., & Zubariiev, V. V. Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya sistem s izbytochnost'yu na ukrainskom [Maintenance models for redundant systems]. Kyiv, Feniks Publ., 2002. 192 p. (In Russian).

6. Kredentser, B. P. Nadezhnost' sistem s dvumya tipami otkazov pri nalichii vremennoy izbytochnosti [Reliability of systems with two types of failures in the presence of temporary redundancy]. Avtovat. i tieliemiakh., 1978, no. 4, pp. 169-176. (In Russian).

7. Gryshyn, V. M., & Skliar, O. I. Vybir klasu modeli i metodu matematychnogo modeliuвання protsesu technschnoi ekspluatatsii litalnykh aparativ viiskovogo pryznachennia [Choice of model class and method of mathematical modeling of the process of technical operation of military aircraft]. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho nauково-doslidnoho instytutu aviatsiyni – Collection of scientific works of the State Research Institute of Aviation, 2022, no. 18(25), pp.134-140. DOI: 10.54858/dndia.2022-18-21.

8. Kovalenko, I. N. *Veroyatnostnyy raschet i optimizatsiya* [Probability calculation and optimization]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1989. 192 p. Available at: [https://library.znu.edu.ua/newbook/index.php?action=url/view&url\\_id=50221](https://library.znu.edu.ua/newbook/index.php?action=url/view&url_id=50221) (accessed 10.05.2023). (In Russian).
9. Barszcz, P., Gołda, P., & Zieja, M. System Informatycznego Wsparcia Eksploatacji Wojskowych Statków Powietrznych. *Logistyka*, 2012, vol. 4, pp. 47-56. Available at: <https://bazekon.uek.krakow.pl/rekord/171600681> (accessed 10.05.2023). (In Polish).
10. Kaleta, R., Zieja, M., & Witoś, M. System informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP. *Logistyka*, 2014, vol. 6, pp. 5094-5103. Available at: [https://www.academia.edu/11699699/System\\_informatycznego\\_wsparcia\\_Lotnictwa\\_Si%C5%82\\_Zbrojnych\\_RP\\_IT\\_Support\\_for\\_aviation\\_of\\_Armed\\_Forces\\_of\\_Poland](https://www.academia.edu/11699699/System_informatycznego_wsparcia_Lotnictwa_Si%C5%82_Zbrojnych_RP_IT_Support_for_aviation_of_Armed_Forces_of_Poland) (accessed 10.05.2023). (In Polish).

Надіслано до редакції 10.10.2023, прийнято до опублікування 20.11.2023

## MAIN ISSUES OF CREATING A MODEL OF THE MAINTENANCE PROCESS OF A MILITARY AIRCRAFT

*Andrii Vichystyi, Andrii Humennyi, Oleksandr Pidlisnyi*

*The subject* of the research in this article is the creation of a mathematical model of the process of technical operation (PTO) of a military aircraft in the system of information support for the operation of an aircraft. The aircraft is a complex technical system that includes many systems, subsystems, and elements for reliable and error-free functioning, which require constant monitoring of its technical condition to determine the possibility of its intended use. It is proposed to promote PTO in the system of information support for the operation of aircraft operating in real time and to create a mathematical model of the process. We will construct a graph of states and transitions using the transition matrix to describe the PTO of a military aircraft. The purpose of this study is to create a mathematical model of the PTO of a military aircraft in a system of information support for the operation of the aircraft operating on a real time scale. *The task*: to determine the role and advantage of using the mathematical model of the PTE of a military aircraft in the information support system for the operation of a CMMS-type aircraft operating in real time for its use in forecasting and managing the effectiveness of the PTE. *The scientific and practical novelty* of the obtained *results* is as follows: the advantages of the PTE mathematical model of a military aircraft in the CMMS-type aircraft operation information support system, which works in real time before the PTO model by resource and the model when decisions are made at the moment, have been determined state changes. *The conclusion* of this study is that the use of the proposed PTO model will allow us to evaluate complex reliability indicators in real time, that is, continuously. The considered PTO model of a military aircraft considers all the features of military aircraft operation at the current stage. This allows us to assume the possibility of its use for the entire aircraft fleet of the Air Force Base of the Armed Forces of Ukraine.

**Keywords:** complex technical system; technical operation; state transition graph; process of technical operation; mathematical model; semi-Markov process; stochastic model.

**Вічистий Андрій Андрійович** – асп. каф. проектування літаків та вертольотів, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Гуменний Андрій Михайлович** – канд. техн. наук, доц., проректор з науково-педагогічної роботи, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Підлісний Олександр Дмитрович** – наук. співроб. науково-дослідної лабораторії факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна.

**Andrii Vichystyi** – PhD Student of Aircraft Designing Department, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: vichisty@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1702-3431.

**Andrii Humennyi** – PhD, Associate Professor, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.gumennyi@khai.edu, ORCID: 0000-0003-1020-6304, Scopus Author ID: 57219051542.

**Oleksandr Pidlisnyi** – Scientific Associate of Research Laboratory at the Faculty of Automated Control System and Ground Support of Aviation Flights, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: apodlesny73@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7805-8232.