

ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНАТОРНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ ЖИВУЧОСТІ ФЛОТУ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ВИКОНАННІ НИМ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Фесенко Г. В.¹, Ляшенко Г. А.², Черепньов І. А.²

¹Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

²Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновано комбінаторний підхід до оцінки живучості флоту безпілотних літальних апаратів як асоціативної системи з урахуванням припустимого рівня збитків.

Постановка проблеми. Останнім часом, особливо після аварії на атомній електростанції Фукусіма-1 у Японії, залучення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для проведення моніторингу потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) стає все більш розповсюдженою практикою [1]. Не потребуючи, як правило, спеціально обладнаних місць для злету-посадки, коштуючи набагато менше, ніж пілотовані літальні апарати, забезпечуючи захист зовнішнього пілота, що перебуває на значній відстані від місць проведення моніторингу, БПЛА використовуються для виконання таких важливих завдань як:

- збір та передача даних про ступінь пошкодження елементів інфраструктури ПНО;
- вимірювання рівня забруднення навколишнього середовища;
- розгортання літаючих сенсорних мереж як складової багатоверсійної системи післяаварійного моніторингу з використанням технології Інтернету дронів [2];
- пошук постраждалих внаслідок аварій на ПНО;
- доставка продовольства та медикаментів до місць проведення аварійно-відновлювальних робіт.

Однак, в умовах аварій на БПЛА флоту можуть впливати небезпечні фактори (НФ), що притаманні цим аваріям, а саме:

- підвищений рівень радіації;
- підвищена температура палаючих елементів інфраструктури;
- раптові вибухи біля місць виконання БПЛА своїх завдань.

Такі фактори неодмінно призведуть до втрат певної кількості БПЛА та потребуватимуть від експлуатуючих флот осіб оцінити їх розмір та прийняти рішення щодо або можливості продовження виконання завдань рештою БПЛА, або проведення відновлення ресурсу флоту до мінімально необхідного для виконання цих завдань рівня. Таким чином, питання оцінки живучості флоту БПЛА в умовах впливу на них НФ аварій на ПНО, є важливим і потребує розробки відповідних підходів та алгоритмів. Під живучістю будемо розуміти властивість флоту БПЛА працювати з не гіршим за мінімально припустимий рівень якості функціонування в умовах впливу НФ аварій на ПНО або відновлювати цей рівень за заданий проміжок часу. Із визначення втікає, що флот може зберегти здатність виконувати завдання за рахунок потенційних резервів (надлишкових БПЛА) або внаслідок ви-

користання груп відновлення, дії яких є обмеженими у часі. Слід відзначити, що підхід до формалізації станів системи в теорії живучості суттєво відрізняється від прийнятого в теорії надійності. Вимога працездатності, прийнята в теорії надійності, є доволі жорсткою для оцінок живучості, оскільки легко припустити, що система, що втратила працездатність, може володіти залишковими можливостями. Тобто, на множині станів відмов, можуть бути відокремлені стани, що припускають виконання системою своєї задачі з заданою ефективністю. Такі стани у подальшому будемо називати станами здатності [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У разі використання у складі флоту однорідних БПЛА, в основу оцінки живучості флоту може бути покладена модель живучості асоціативних систем (А-систем), яка запропонована у [3].

Асоціативний характер об'єднання елементів (в нашому випадку БПЛА) означає, що елементи (БПЛА) не мають структурних відносин і в процесі впливу на них НФ властивість відповідності системи (флоту БПЛА) своєму призначенню (виконання задач з моніторингу елементів інфраструктури ПНО або території навколо нього) не зазнає змін. Деградація системи (флоту) йде у напрямку властивості "достатність".

Показником достатності є величина збитків (відсоток втрачених БПЛА) D . Зрозуміло, що система здатна виконати задачу, якщо:

$$D \leq D_n, \quad (1)$$

де D_n – припустимий (за умовами функціонування) рівень збитків системи (відсоток втрачених БПЛА флоту).

В процесі ідентифікації станів системи значення D_n відіграє роль критерію станів здатності і характеризує втрату такої кількості елементів, за якої остаточний ресурс системи m_s забезпечує виконання поставленого завдання на рівні, не гірше мінімального необхідного. Для розуміння особливостей оцінки живучості А-систем важливими є також такі поняття, як "стійкість" та "структурна надлишковість".

Стойкість характеризує здатність системи виконувати поставлені завдання в умовах впливу НФ.

Структурна надлишковість характеризує невразливість системи, що досягається наявністю в структурі резервних елементів. У якості кількісною міри такої характеристики може виступати ступінь структур-

ної надлишковості – відношення загальної кількості елементів системи до мінімально необхідної їх кількості для виконання поставленого завдання.

Існують різні моделі живучості А-систем, серед яких найбільш поширеними є [3-5]:

- детермінована модель живучості;
- неперервна стохастична модель живучості;
- дискретна стохастична модель живучості;
- модель живучості на основі комбінаторного підходу.

Саме остання модель обрана авторами для використання під час розробки власного підходу.

Мета статті. Розробка підходу до оцінки живучості флоту БПЛА як А-системи з урахуванням припустимого рівня збитків.

Основні матеріали дослідження. Введемо наступні припущення та обмеження:

1. Флот БПЛА перебуває під впливом НФ аварій на ПНО, які призводять до втрати певної кількості БПЛА.

2. Флот БПЛА є відновлюваною А-системою, тобто групи відновлення, працюючи з заданою продуктивністю забезпечують часткове, або повне відновлення ресурсу флоту до заданого часу моніторингу.

3. У якості критерію ефективності будемо використовувати показник живучості системи.

Алгоритм розрахунку показника живучості включає в себе наступні кроки.

1. Розрахунок середньої інтенсивності відмов флоту БПЛА:

$$\lambda_{\phi} = \frac{m_{БПЛА}^{НФ}(1-q_{БПЛА})}{\tau m_{БПЛА}^{поч}} \quad (1/год), \quad (2)$$

де $m_{БПЛА}^{НФ}$ – прогнозована кількість БПЛА, що падає під вплив НФ;

$m_{БПЛА}^{поч}$ – кількість БПЛА на початку виконання завдань з моніторингу;

$q_{БПЛА}$ – стійкість БПЛА до впливу НФ;

τ – час моніторингу (год).

2. Розрахунок середньої інтенсивності відновлення флоту БПЛА:

$$\mu_{\phi} = \frac{U_{зв}}{m_{БПЛА}^{поч}} \quad (1/год), \quad (3)$$

де $U_{зв}$ – продуктивність груп відновлення БПЛА (БПЛА/год).

3. Розрахунок кількості БПЛА флоту, що залишаються у працездатному стані на заданий момент часу моніторингу τ :

$$m_{БПЛА}(\tau) = m_{БПЛА}^{поч} e^{-(\lambda_{\phi} - \mu_{\phi})\tau}. \quad (4)$$

4. Розрахунок мінімально необхідної кількості БПЛА (мінімально необхідного ресурсу) флоту для виконання поставленого завдання:

$$m_{БПЛА}^{min} = m_{БПЛА}^{поч} \frac{D_n m_{БПЛА}^{поч}}{100}, \quad (5)$$

де D_n – припустимий (за умовами функціонування) рівень збитків флоту (відсоток БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ).

5. Розрахунок показника живучості БПЛА флоту:

$$G_{\phi} = \frac{1}{C_{m_{БПЛА}^{поч}}^{m_{БПЛА}(\tau)}} \sum_{i=m_{БПЛА}^{min}}^{m_{БПЛА}(\tau)} C_{m_{БПЛА}(\tau)}^i C_{m_{БПЛА}^{поч}-m_{БПЛА}(\tau)}^{m_{БПЛА}(\tau)-i}, \quad (6)$$

за умов, що:

$$m_{БПЛА}^{min} \leq i \leq m_{БПЛА}^{поч}, \quad m_{БПЛА}^{поч} - m_{БПЛА}(\tau) \leq m_{БПЛА}(\tau) - i. \quad (7)$$

Використовуючи формули (2)-(7), було проведено дослідження впливу на показник живучості флоту БПЛА наступних параметрів:

– продуктивності груп відновлення БПЛА за різних значень припустимого (за умовами функціонування) рівня збитків флоту (відсотку БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ) (рис. 1);

– стійкості БПЛА за різних значень припустимого (за умовами функціонування) рівня збитків флоту (відсотку БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ) (рис. 2).



Рисунок 1 – Залежність показника живучості флоту БПЛА від продуктивності груп відновлення для припустимих рівнів збитків флоту у 45% та 50% БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ:

$$m_{БПЛА}^{поч} = 20; m_{БПЛА}^{НФ} = 20; \tau = 48 \text{ год}; q_{БПЛА} = 0,2$$

Аналіз графіків, представлених на рис. 1 та рис. 2, дозволяє зробити наступні висновки:

– за продуктивності груп відновлення від 0,1 до 0,13 БПЛА/год (рис. 1) показник живучості залишається близьким до нуля, в той час як з відмітки у 0,16 БПЛА/год починається його збільшення, яке досягає максимального значення в одиницю при $U_{зв} = 0,22$ БПЛА/год для припустимого рівня збитків флоту у 50% та складає 0,81, якщо цей рівень становить 45%;

– зростання величини стійкості БПЛА стає відчутною для показника живучості, починаючи зі значення 0,25 (рис. 2), а далі, у разі, якщо $q_{БПЛА} = 0,3$, спостерігається максимальне значення показника живучості в одиницю для $D_n = 30\%$ та лише 0,4 для $D_n = 25\%$;

– чим вищим є припустимий рівень збитків флоту, тим вищі значення приймає показник живучості, про що свідчить той факт, що: при $U_{зв} = 0,3$ БПЛА/год рівень у 50% забезпечує на 0,19 (або у 1,23 рази) кращий показник живучості, ніж рівень у 45% (рис. 1); при $q_{БПЛА} = 0,3$ рівень у 30% забезпечує на 0,6 (або у 2,5 рази) кращий показник живучості, ніж рівень у 25% (рис. 2).

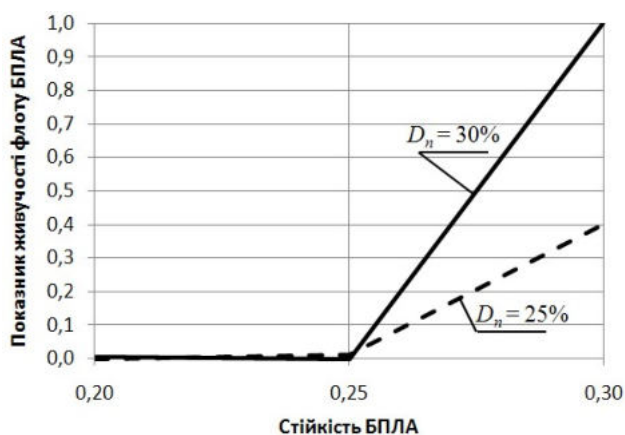


Рисунок 2 – Залежність показника живучості флоту БПЛА від стійкості БПЛА для припустимих рівнів збитків флоту у 25% та 30% БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ:

$$m_{БПЛА}^{поч} = 20; m_{БПЛА}^{НФ} = 20; \tau = 48 \text{ год};$$

$$U_{зв} = 0,22 \text{ БПЛА/год}$$

Висновки. Обґрунтовано доцільність розгляду флоту БПЛА у якості асоціативної системи та введена необхідна термінологія. Розроблено підхід до оцінки живучості флоту БПЛА з урахуванням припустимого рівня збитків (відсотку БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ).

Запропоновано алгоритм розрахунку показника живучості, який включає п'ять основних кроків. Використовуючи запропонований алгоритм, були наведені та проаналізовані залежності впливу на показник живучості продуктивності груп відновлення та стійкості БПЛА до впливу НФ для різних значень припустимого рівня збитків (відсотку БПЛА, втрачених внаслідок впливу НФ).

Результати досліджень доцільно використовувати: під час обґрунтування чисельності флоту БПЛА, що відряджається для здійснення моніторингу елементів інфраструктури або території навколо ПНО; для визначення оптимального (раціонального) часу застосування флоту; для моделювання сценаріїв застосування флоту в умовах впливу НФ різного характеру.

Подальші дослідження доцільно зосередити на використанні комбінаторного підходу для оцінки живучості асоціативно-структурних систем (АС-систем),

яким притаманний асоціативний характер об'єднання елементів та наявність структурних зв'язків між асоціаціями. У нашому випадку у якості АС-системи може виступати угруповання флотів БПЛА, а у якості асоціацій – флоти БПЛА.

Список використаних джерел

1. Система послеварийного моніторингу АЭС с использованием беспилотных летательных аппаратов: концепция, принципы построения / Саченко А. А., Кочан В. В., Харченко В. С. та ін. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2017. №1 (73). С. 24-29.
2. An Internet of Drone-based multi-version post-severe accident monitoring system: structures and reliability / Fesenko H., Kharchenko V., Sаченко A. et al. *Dependable IoT for human and industry modeling, architecting, implementation* (Kharchenko V., Kor A., Rucinski A. eds.). Denmark, The Netherlands: River Publishers, 2018. P. 197-217.
3. Стекольников Ю. И. Живучесть систем / Ю. И. Стекольников. – СПб: Политехника, 2002. 155 с.
4. Kharchenko V. A., Fesenko H. N. Doukas stochastic continues-time model of the drone fleet: research of survivability and choice of parameters. *International Journal of Instrumentation and Measurement*. 2017. Vol. 2. P. 25-30.
5. Kharchenko V. An approach to the drone fleet survivability assessment based on a combinatorial model / V. Kharchenko, H. Fesenko, N. Bardis // *Math. Methods and Computational Techniques in Sci. and Eng. (MMCTSE 2018): Proc. AIP Conf.* 2018. Vol. 1982. P. 020047.

Аннотация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНАТОРНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ЖИВУЧЕСТИ ФЛОТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИМ МОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Фесенко Г. В., Ляшенко Г. А., Черепнев И. А.

Предложен комбинаторный подход к оценке живучести флота беспилотных летательных аппаратов как ассоциативной системы с учетом допустимого уровня ущерба.

Abstract

THE USE OF A COMBINATORIAL APPROACH TO ASSESSING SURVIVABILITY OF A FLEET OF UNMANNED AERIAL VEHICLES WHILE PERFORMING THE MONITORING OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

H. Fesenko, G. Lyashenko, I. Cherepnev

A combinatorial approach to assessing the survivability of a fleet of unmanned aerial vehicles as an associative system with allowable damage level is proposed.