

УДК 519.81

Особливості визначення можливостей наземного пункту управління БПЛА щодо реагування на позаштатні ситуації під час моніторингу територій з урахуванням помилок операторів та їх рівня підготовки

Г.В. Фесенко

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», (м. Харків, Україна),
e-mail: h.fesenko@csn.khai.edu, ORCID: 0000-0002-4084-2101

Предметом вивчення в даній статті є процес управління флотом БПЛА у позаштатних ситуаціях. Мета даної статті полягає у дослідженні впливу помилок операторів наземного пункту управління (НПУ) БПЛА та їх рівня підготовки на можливості НПУ щодо реагування на позаштатні ситуації. Завдання: провести аналіз літературних джерел і систематизувати дані щодо причин помилок операторів, організації їх підготовки, моделей визначення необхідної кількості операторів НПУ, розробити алгоритм визначення параметрів, необхідних для оцінки можливостей НПУ щодо реагування на позаштатні ситуації, провести дослідження відповідно до сформульованої мети. Отримано наступні результати. Показано, що основними причинами виникнення помилок операторів під час реагування на позаштатні ситуації є наступні: втома і розосередженість; недостатній рівень підготовки; відсутність досвіду дій у позаштатних ситуаціях; неправильний розподіл навантаження на операторів НПУ; психологічна неготовність до дій у позаштатних ситуаціях; нечіткі інструкції щодо дій у позаштатних ситуаціях; недосконалий інтерфейс «людина-машина». Обґрунтовано доцільність розгляду системи «Оператори НПУ – БПЛА» як замкнутої багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням та запропонована структура такої системи. Сформульований перелік параметрів, необхідних для оцінки можливостей наземного пункту управління БПЛА щодо реагування на позаштатні ситуації та запропонований алгоритм їх обчислення. Визначено, що для розглянутих вихідних даних підвищення рівня підготовки операторів дозволяє зменшити: кількість БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів (на 1,87 БПЛА); середній час перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів (на 19,4 хвилини); кількість операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі (вдвічі). Отримані результати доцільно використовувати під час створення систем підтримки рішень під час управління БПЛА та обґрунтування необхідної кількості операторів НПУ.

Ключові слова: помилка оператора, позаштатні ситуації, наземний пункт управління, БПЛА, система масового обслуговування, рівень підготовки операторів, польотне завдання

Постановка проблеми. У разі виникнення аварій на об'єктах критичних інфраструктур, наприклад на атомних електростанціях, значна частина території піддається впливу небезпечних факторів (руйнування, підвищений радіаційний фон тощо). Для здійснення післяаварійного моніторингу постраждалих територій доцільно застосувати флот БПЛА [1-3]. Під час застосування БПЛА в автоматичному режимі відповідно до введеного заздалегідь польотного завдання можуть виникати позаштатні ситуації, обумовлені, наприклад потраплянням БПЛА у метеорологічні умови, до польотів в яких безпілотний літальний апарат не пристосований, відмовою бортової апаратури тощо. Такі ситуації, як правило призводять до різних відхилень від визначеного польотного завдання і потребують втручання оператора (операторів) НПУ. Разом з тим, позаштатні ситуації обумовлюють виникнення поми-

лок з боку операторів НПУ, оскільки останнім необхідно в обмежений час і в умовах стресу оцінити ситуацію і прийняти єдине правильне рішення. Згідно з дослідженнями, викладеними в [4-6], помилки операторів НПУ є однією з головних причин втрат БПЛА. Переважна більшість втрат БПЛА у США (близько 13 БПЛА на рік) [4], відбувається, в основному, внаслідок «людського фактору». У зв'язку з цим виникає необхідність моделювання сценаріїв позаштатних ситуацій з урахуванням помилок операторів НПУ з метою використання результатів їх аналізу під час підготовки операторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Достатня ґрунтовний аналіз втрат БПЛА подано у [6], де зазначені основні причини помилок операторів БПЛА, а саме:

- втома і розосередженість;
- недостатній рівень підготовки;

- відсутність досвіду дій у позаштатних ситуаціях;
- неправильний розподіл навантаження на операторів НПУ;
- психологічна неготовність до дій у позаштатних ситуаціях;
- нечіткі інструкції щодо дій у позаштатних ситуаціях;
- недосконалий інтерфейс «людина-машина».

У зв'язку з існуванням такого значного переліку причин помилок операторів, питанням якісної підготовки операторів БПЛА приділяється все більше і більше уваги. Удосконалюються технології розробки програм підготовки операторів та формується типовий перелік обов'язкових загальнокультурних і професійних компетенцій операторів [7]. У процесі підготовки операторів активно використовуються сучасні тренажери [8, 9]. Підготовка операторів НПУ з використанням тренажера – один з найважливіших елементів забезпечення безпечної експлуатації БПЛА, що дозволяє мінімізувати негативний вплив людського фактора і звести до мінімуму можливість помилкових дій операторів НПУ. В цілому є дві основні концепції в підготовці і навчанні операторів БПЛА – навчання на спеціально розроблених для цих цілей тренажерах і наявність тренажних функцій безпосередньо в НПУ [10]. Більшість сучасних тренажерів дозволяє створювати віртуальне інформаційне середовище застосування БПЛА, яке реалізоване на основі єдиного банку даних геопросторової інформації та моделей фоноцільової обстановки [8].

Для забезпечення інтелектуальної підтримки дій операторів НПУ у позаштатних ситуаціях створюється спеціальне програмне забезпечення (ПЗ) [11, 12]. Однак, як зазначають автори [8], функції ПЗ спрямовані лише на забезпечення виконання типових операцій оператором, а розв'язання логіко-аналітичних задач, пов'язаних з вибором об'єкта моніторингу за ступенем його важливості, переробкою одержуваної інформації за допомогою каналу зв'язку, необхідністю оперативного реагування на зміни умов за наявних можливостей БПЛА не вирішені і вимагають від оператора високої кваліфікації і інтуїції. А постійний розрахунок на автоматику іноді призводить до втрати пильності операторів і відсутності мотивації до підвищення рівня своєї професійної підготовки [13, 14].

Мета даної статті полягає у дослідженні впливу помилок операторів наземного пункту управління (НПУ) БПЛА та їх рівня підготовки на можливість НПУ щодо реагування на позаштатні ситуації.

Викладення основного матеріалу. Як доведено у [15], практика використання НПУ БПЛА показує, що позаштатні ситуації в реальних польотах БПЛА виникають випадковим чином і утворюють випадковий потік заявок на їх обслуговування операторами НПУ. У зв'язку з неможливі-

стю точного прогнозування змісту кожної з таких заявок, що надходять, оператори в загальному випадку потребуватимуть випадкових витрат часу на аналіз ситуації і прийняття рішення щодо її обслуговування. Природно припустити, що під час надходження певної заявки від БПЛА на обслуговування в момент часу, коли оператори зайняті обслуговуванням заявки від іншого БПЛА, він очікує обслуговування в черзі.

Зазначені вище особливості взаємодії операторів з розташованими в польоті БПЛА дозволяють використовувати для опису цього процесу формалізм теорії масового обслуговування. При цьому описану вище систему «Оператори НПУ – БПЛА» доцільно розглядати як замкнуту багатоканальну систему масового обслуговування з очікуванням, структура якої показана на рис. 1.

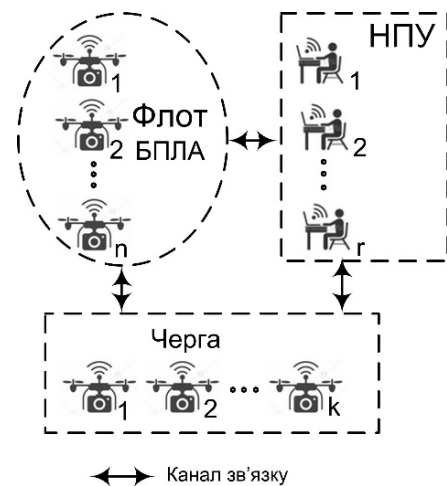


Рис. 1. Система «Оператори НПУ – БПЛА» як замкнута багатоканальна система масового обслуговування з очікуванням

На цьому рисунку елемент «НПУ» складається з r операторів, які обробляють поточні заявки на управління від k БПЛА за допомогою автоматизованих робочих місць і апаратури лінії зв'язку «Оператори НПУ – БПЛА».

Виконання під час моніторингу території завдань підвищеної відповідальності пов'язане, як правило, з підтриманням знаходження у повітрі максимально можливої кількості БПЛА. Це означає, що необхідно реалізувати таку стратегію обслуговування флоту БПЛА, яка б дозволила виключити наявність БПЛА у черзі на втручання з боку операторів.

Тобто, потребуватиме визначення такої параметр як мінімально необхідна кількість операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі.

В разі неможливості відрядити для обслуговування БПЛА флоту достатньої для уникнення черги кількості операторів, стратегія обслугову-

вання буде зводитися до використання максимально можливої кількості операторів з метою мінімізації кількості БПЛА у черзі на обслуговування та під управлінням операторів.

З урахуванням викладеного вище, перелік параметрів, які потребуватимуть розрахунку, може бути наступним: n_y – середня кількість операторів, що управляють (обслуговують) БПЛА; n_{zy} – середня кількість БПЛА, якою здатні управляти (обслуговувати) оператори НПУ; n_{cy} – середня кількість БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів (обслуговуються); n_c – середня кількість БПЛА, що перебувають у черзі на обслуговування; n_{ny} – середня кількість операторів, що не управляють БПЛА; T_{ny} – середній час, протягом якого відсутні заявки від БПЛА; T_c – середній час перебування БПЛА у черзі на обслуговування, години; T_{cy} – середній час перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів, години; n_{ec} – мінімальна необхідна кількість операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі.

Для представлення алгоритму визначення зазначених вище параметрів, введемо припущення, що кожна заявка, що надійшла від БПЛА, повністю обслуговується оператором з певною ймовірністю $0 \leq P_{yy} < 1$. Дотримуючись схеми, поданої на рис. 1, значення ймовірності безпомилкового обслуговування (успішного управління) БПЛА визначається наступним чином:

$$P_{yy} = P_{np} + P_a - P_{np} \cdot P_a \quad (1)$$

де P_{np} – ймовірність прийняття правильного рішення оператором; P_a – ймовірність безвідмовної роботи бортової та наземної апаратури радіозв'язку під час управління БПЛА.

Крім P_{np} і P_a у якості вихідних даних розглянемо наступні: n – кількість БПЛА у складі флоту; r – кількість операторів НПУ; T_e – середній інтервал часу, після закінчення якого БПЛА, що здійснює політ у автоматичному режимі згідно польотного завдання, потребує втручання оператора у процес управління ним, години; T_y – середній час, протягом якого БПЛА перебуває під управлінням оператора, години.

З урахуванням сформульованого припущення та відповідно до запропонованих вихідних даних алгоритм визначення зазначених вище параметрів має наступну послідовність.

1. Визначення інтенсивності потоку заявок від БПЛА:

$$\lambda = \frac{1}{T_e} \quad (2)$$

2. Визначення інтенсивності обслуговування потоку заявок від БПЛА одним оператором:

$$\mu = P_{yy} \cdot \frac{1}{T_y} \quad (3)$$

3. Знаходження допоміжних коефіцієнтів A_k при $1 \leq k \leq n$:

$$A_k = \frac{n!}{r^{k-r} \cdot r! \cdot (n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \quad (4)$$

4. Визначення імовірності того, що жоден з БПЛА не потребує втручання операторів НПУ:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n A_k} \quad (5)$$

5. Визначення імовірності того, що k БПЛА потребують втручання операторів НПУ:

$$P_k = A_k \cdot P_0 \quad (6)$$

6. Визначення середньої кількості операторів, що управляють (обслуговують) БПЛА:

$$n_y = \sum_{k=0}^r P_k \cdot k + \sum_{k=r+1}^n r \cdot P_k \quad (7)$$

7. Визначення середньої кількості БПЛА, якою здатні управляти (обслуговувати) оператори НПУ:

$$n_{zy} = n_y \cdot \mu \quad (8)$$

8. Визначення середньої кількості БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів (обслуговуються):

$$n_{cy} = n - n_y \frac{\mu}{\lambda} \quad (9)$$

9. Визначення середньої кількості БПЛА, що перебувають у черзі на обслуговування:

$$n_c = n - n_y \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\lambda}\right) \quad (10)$$

10. Визначення середньої кількості операторів, що не управляють БПЛА:

$$n_{ny} = \sum_{k=0}^{r-1} (r-k) \cdot P_k \quad (11)$$

11. Визначення середнього часу відсутності заявок від БПЛА:

$$T_{ny} = \frac{n_{ny}}{r} \quad (12)$$

12. Визначення середнього часу перебування БПЛА у черзі на обслуговування:

$$T_c = \frac{n_c}{n} \quad (13)$$

13. Визначення середнього часу перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів:

$$T_{cy} = \frac{n_y}{n} \quad (14)$$

14. Визначення коефіцієнту готовності системи «Оператори НПУ - БПЛА»:

$$K_2 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (15)$$

15. Визначення мінімально необхідної кількості операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі:

$$n_{вч} = \frac{n \cdot \lambda}{\lambda + \mu} \quad (16)$$

Розглянемо три різних варіанти комплектування НПУ операторами. Перший варіант передбачає комплектування НПУ операторами з відмінною підготовкою, другий – доброю підготовкою і третій – задовільною підготовкою. Кожному варіанту відповідає свій середній час, протягом якого БПЛА перебуває під управлінням оператора T_y і складає відповідно 1,5, 2,5 і 3,5 хвилини.

Таблиця 1. Вихідні зафіксовані дані для проведення досліджень

Назва параметру, його позначення та розмірність	Значення параметру
кількість операторів НПУ r	2
середній інтервал часу, після закінчення якого БПЛА, що здійснює політ у автоматичному режимі згідно польотного завдання, потребує втручання оператора у процес управління ним $T_{в}$, години	0,2
імовірність прийняття правильного рішення оператором $P_{пр}$	0,95
імовірність безвідмовної роботи бортової та наземної апаратури радіозв'язку під час управління БПЛА P_a	0,99

Використовуючи формули (1) – (16) та таблицю 1 із зафіксованими вихідними даними, для кожного з варіантів були проведені дослідження для визначення, яким чином впливає кількість БПЛА у складі флоту на:

- середню кількість БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів (обслуговуються) $n_{чy}$ (рис. 2);
- середній час перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів $T_{чy}$ (рис. 3);
- мінімальну необхідну кількість операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі $n_{вч}$ (рис. 4).

Для зручності сприйняття результатів часові показники подані у хвилинах. Аналіз поданих на рис 2-4 залежностей дозволяє зробити наступні висновки.

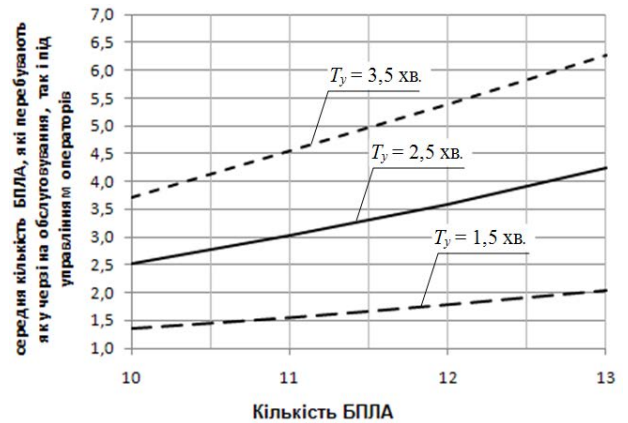


Рис. 2. Залежність середньої кількості БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів (обслуговуються), від кількості БПЛА у складі флоту

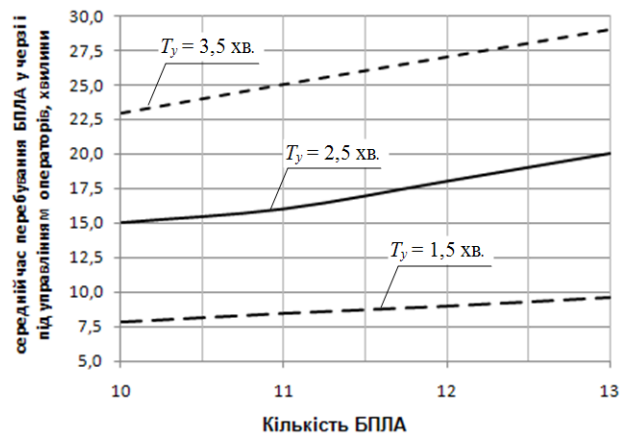


Рис. 3. Залежність середнього часу перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів від кількості БПЛА у складі флоту

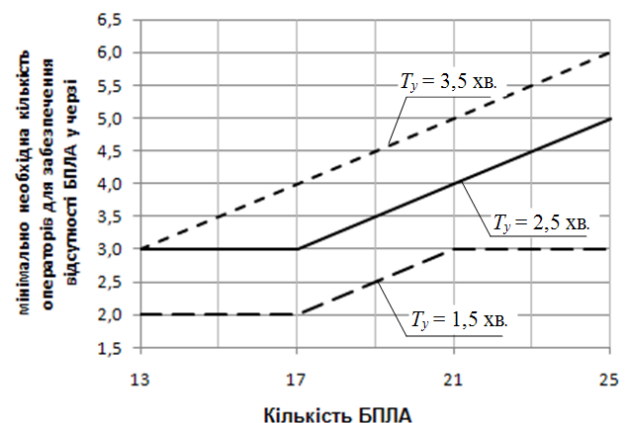


Рис. 4. Залежність мінімально необхідної кількості операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі від кількості БПЛА у складі флоту

1. Збільшення кількості БПЛА призводить до підвищення навантаження на операторів НПУ (рис. 2), оскільки збільшується кількість БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів $n_{\text{чy}}$. Так наприклад, у разі збільшення кількості БПЛА у складі флоту від 10 до 13 зазначений параметр $n_{\text{чy}}$ зростає на 2,57 БПЛА (працюють задовільно підготовлені оператори), 1,7 БПЛА (працюють добре підготовлені оператори) та 0,7 БПЛА (працюють відмінно підготовлені оператори). Таким чином, відмінно підготовлені оператори НПУ здатні зменшити кількість БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів, на 1,87 БПЛА. Тобто в середньому 1,87 БПЛА не потребуватимуть втручання з боку операторів.

2. Також внаслідок збільшення кількості БПЛА зростає середній час перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів $T_{\text{чy}}$ (рис. 3). Цей час збільшується на 1,8, 5 і 6 хвилин відповідно для відмінно, добре та задовільно підготовлених операторів. Також відзначимо, що за наявності 13 БПЛА у складі флоту відмінно підготовлені оператори забезпечують на 20,4 хвилини менший час $T_{\text{чy}}$, ніж оператори, що мають задовільну підготовку.

3. Для забезпечення відсутності БПЛА у черзі, коли їхня кількість у складі флоту складає, наприклад, 25 (рис. 4), необхідно мати 3, 5 та 6 відповідно відмінно, добре та задовільно підготовлених операторів. Тобто відмінно підготовлені оператори удвічі меншою кількістю забезпечать відсутність БПЛА у черзі порівняно з операторами із задовільною підготовкою.

Висновки.

1. Показані основні причини виникнення помилок операторів під час реагування на позаштатні ситуації.

2. Обґрунтовано доцільність розгляду системи «Оператори НПУ» як замкнутої багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням та запропонована структура такої системи.

3. Сформульований перелік параметрів, необхідних для оцінки можливостей наземного пункту управління БПЛА та запропонований алгоритм їх визначення.

4. Визначено, що для розглянутих вихідних даних підвищення рівня підготовки операторів дозволяє зменшити: кількість БПЛА, які перебувають як у черзі на обслуговування, так і під управлінням операторів (на 1,87 БПЛА); середній час перебування БПЛА у черзі і під управлінням операторів (на 19,4 хвилини); кількість операторів для забезпечення відсутності БПЛА у черзі (вдвічі).

5. Отримані результати доцільно використовувати для створення систем підтримки рішень під час управління БПЛА та обґрунтування необхідної кількості операторів НПУ.

Література

1. Система послеаварийного мониторинга АЭС с использованием беспилотных летательных аппаратов: концепция, принципы построения / А.А. Саченко, В.В. Кочан, В.С. Харченко, М.А. Ястребенецкий, Г.В. Фесенко, М.Э. Яновский // Ядерна та радіаційна безпека. – 2017. - № 1 (73). – С. 24-29.

2. Система послеаварийного мониторинга АЭС с использованием беспилотных летательных аппаратов: модели надежности / В.С. Харченко, М.А. Ястребенецкий, Г.В. Фесенко, А.А. Саченко, В.В. Кочан // Ядерна та радіаційна безпека. – 2017. – № 4 (76). – С. 50-55.

3. H. Fesenko, "Optimal redistribution of UAVs in case of changing monitoring zones after a NPP accident," in Proc. 2018 IEEE 9th Int. Conf. Dependable Syst., Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 48–52.

4. Американцы подсчитали потери беспилотников с 2001 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topwar.ru/52665-amerikancy-podschitali-poteri-bespilotnikov-s-2001-goda.html>.

5. Y. Tan, D. Feng, and H. Shen, "Research for Unmanned Aerial Vehicle components reliability evaluation model considering the influences of human factors," in Proc. 2017 3rd Int. Conf. Mech., Electron. and Information Technology Eng., ICMITE 2017, vol. 138, p. 00221.

6. C. Roos, "Human error in operating mini RPAS: Causes, effects and solutions," National Aerospace Laboratory NLR, Amsterdam, The Netherlands, Rep. NLR-TP-2014-068, Feb. 2014.

7. Осипов Ю.Н. Технология разработки программ подготовки операторов беспилотных авиационных систем / Ю.Н. Осипов, В.И. Ершов // Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: сборник докладов и статей по материалам II научно-практической конференции. – Коломна: 924 Государственный центр беспилотной авиации, 2017. – С. 248-257.

8. Злотников К.А., Кудрявцев А.Н. Актуальные вопросы создания автоматизированных систем подготовки специалистов по управлению комплексами с беспилотными летательными аппаратами / К.А. Злотников, А.Н. Кудрявцев // Перспективы развития и применения комплексов

с беспилотными летательными аппаратами: сборник докладов и статей по материалам II научно-практической конференции. – Коломна: 924 Государственный центр беспилотной авиации, 2017. – С. 91-97.

9. Злотников К.А. Опыт применения унифицированного учебно-тренажерного комплекса подготовки боевых расчетов наземных пунктов управления комплексов воздушной разведки с БЛА и актуальные вопросы совершенствования средств автоматизации обучения специалистов по применению беспилотной техники / К.А. Злотников, А.Г. Кондратенко, О.И. Савченко // Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: сборник докладов и статей по материалам ежегодной научно-практической конференции. – Коломна: 924 Государственный центр беспилотной авиации, 2016. – С. 83-87.

10. Пручковский С.В. Комплексный тренажер для обучения операторов беспилотного авиационного комплекса / С.В. Пручковский // 7-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 20–22 мая 2017 г.): сборник научных статей. В 3 ч. Ч. 1. – Минск: Четыре четверти, 2017. – С. 76-82.

11. Королюк Н.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами на наземном пункте управления / Н.А. Королюк, С.Н. Еременко // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 8. – С. 31-36.

12. Бурый А.С. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами А.С. Бурый, М.А. Шевкунов // Транспортное дело России. – 2015. – № 6. – С. 199-202.

13. M. L. Cummings, E. N. Carl, J. Crandall, and P. Mitchell, "Predicting operator capacity for supervisory control of multiple UAVs," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 70, *Innovations in Intelligent Machines – 1*, J. S. Chahl, L. C. Jain, A. Mizutani, and M. Sato-Ilic, Eds. Berlin, Germany: Springer, 2007, pp. 11–37.

14. R. W. Wohleber, G. L. Calhoun, G. J. Funke, H. Ruff, C.-Y. P. Chiu, J. Lin, and G. Matthews, "The impact of automation reliability and operator fatigue on performance and reliance," in *Proc. Annu. Meeting Human Factors and Ergonomics Society*, 2016, vol. 60, issue 1, pp. 211–215.

15. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография / В.С. Моисеев. – Казань: Школа, 2015. – 444 с.

References

1. Sistema posleavarijnogo monitoringa AJeS s ispol'zovaniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov: koncepcija, principy postroenija / A.A. Sachenko, V.V. Kochan, V.S. Kharchenko, M.A. Jastrebeneckij, H.V. Fesenko, M.Je. Janovskij // *Yaderna ta radiatsiina bezpeka*. – 2017. - № 1 (73). – pp. 24-29.

2. Sistema posleavarijnogo monitoringa AJeS s ispol'zovaniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov: modeli nadezhnosti / V.S. Kharchenko, M.A. Jastrebeneckij, H.V. Fesenko, A.A. Sachenko, V.V. Kochan // *Yaderna ta radiatsiina bezpeka*. – 2017. – № 4 (76). – pp. 50-55.

3. H. Fesenko, "Optimal redistribution of UAVs in case of changing monitoring zones after a NPP accident," in *Proc. 2018 IEEE 9th Int. Conf. Dependable Syst., Services and Technologies, DESSERT 2018*, pp. 48-52.

4. Amerikancy podschtitali poteri bespilotnikov s 2001 goda [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://topwar.ru/52665-amerikancy-podschtitali-poteri-bespilotnikov-s-2001-goda.html>.

5. Y. Tan, D. Feng, and H. Shen, "Research for Unmanned Aerial Vehicle components reliability evaluation model considering the influences of human factors," in *Proc. 2017 3rd Int. Conf. Mech., Electron. and Information Technology Eng., ICMITE 2017*, vol. 138, p. 00221.

6. C. Roos, "Human error in operating mini RPAS: Causes, effects and solutions," National Aerospace Laboratory NLR, Amsterdam, The Netherlands, Rep. NLR-TP-2014-068, Feb. 2014.

7. Osipov Ju.N. Tehnologija razrabotki program podgotovki operatorov bespilotnyh aviacionnyh sistem / Ju.N. Osipov, V.I. Ershov // *Perspektivy razvitija i primenenija kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi aparatami: sbornik dokladov i statej po materialam II nauchno-prakticheskoj konferencii*. – Kolomna: 924 Gosudarstvennyj centr bespilotnoj aviacii, 2017. – pp. 248-257.

8. Zlotnikov K.A., Kudrjavcev A.N. Aktual'nye voprosy sozdanija avtomatizirovannyh sistem podgotovki specialistov po upravleniju kompleksami s bespilotnymi letatel'nymi aparatami / K.A. Zlotnikov, A.N. Kudrjavcev // *Perspektivy razvitija i primenenija kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi aparatami: sbornik dokladov i statej po materialam II nauchno-prakticheskoj konferencii*. – Kolomna: 924 Gosudarstvennyj centr bespilotnoj aviacii, 2017. – pp. 91-97.

9. Zlotnikov K.A. Opyt primenenija unificirovannogo uchebno-trenazhernogo kompleksa podgotovki boevykh raschetov nazemnyh punktov upravlenija

kompleksov vozdušnoy razvedki s BLA i aktual'nye voprosy sovershenstvovanija sredstv avtomatizacii obuchenija specialistov po primeneniju bespilotnoj tehniki / K.A.Zlotnikov, A.G.Kondratenko, O.I.Savchenko // Perspektivy razvitija i primenenija kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi aparatami: sbornik dokladov i statej po materialam ezhegodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Kolomna: 924 Gosudarstvennyj centr bespilotnoj aviacii, 2016. – pp. 83-87.

10. Pruchkovskij S.V. Kompleksnyj trenazher dlja obuchenija operatorov bespilotnogo aviacionnogo kompleksa / S.V. Pruchkovskij // 7-ja Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija po voenno-tehnicheskim problemam, problemam oborony i bezopasnosti, ispol'zovaniju tehnologij dvojnogo primenenija (Minsk, 20-22 maja 2017 g.): sbornik nauchnyh statej. V 3 ch. Ch. 1. – Minsk: Chetyre chetverti, 2017. – pp. 76-82.

11. Koroljuk N.A. Intellektual'naja sistema podderzhki prinjatija reshenij pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi aparatami na nazemnom punkte

upravljenja / N.A. Koroljuk, S.N. Eremenko // Sistemi obrobki informacii. – 2015. – Vip. 8. – pp. 31-36.

12. Buryj A.S. Podhod k postroeniju sistem podderzhki prinjatija reshenij pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi aparatami A.S. Buryj, M.A. Shevkunov // Transportnoe delo Rossii. – 2015. – № 6. – pp. 199-202.

13. M. L. Cummings, E. N. Carl, J. Crandall, and P. Mitchell, "Predicting operator capacity for supervisory control of multiple UAVs," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 70, *Innovations in Intelligent Machines – 1*, J. S. Chahl, L. C. Jain, A. Mizutani, and M. Sato-Ilic, Eds. Berlin, Germany: Springer, 2007, pp. 11–37.

14. R. W. Wohleber, G. L. Calhoun, G. J. Funke, H. Ruff, C.-Y. P. Chiu, J. Lin, and G. Matthews, "The impact of automation reliability and operator fatigue on performance and reliance," in *Proc. Annu. Meeting Human Factors and Ergonomics Society*, 2016, vol. 60, issue 1, pp. 211–215.

15. Moiseev V.S. Osnovy teorii jeffektivnogo primenenija bespilotnyh letatel'nyh aparatov: monografija / V.S.Moiseev. – Kazan': Shkola, 2015. – 444 p.

Аннотация

Особенности определения возможностей наземного пункта управления БПЛА по реагированию на нештатные ситуации во время мониторинга территорий с учетом ошибок операторов и их уровня подготовки

Г.В. Фесенко

Предметом изучения в данной статье является процесс управления флотом БПЛА в нештатных ситуациях. Цель данной статьи состоит в исследовании влияния ошибок операторов наземного пункта управления (НПУ) БПЛА и их уровня подготовки на возможности НПУ по реагированию на нештатные ситуации. Задачи: провести анализ литературных источников и систематизировать данные о причинах ошибок операторов, организации их подготовки, моделей определения необходимого количества операторов НПУ; разработать алгоритм определения параметров, необходимых для оценки возможностей НПУ по реагированию на нештатные ситуации; провести исследования в соответствии с сформулированной целью. Получены следующие результаты. Показано, что основными причинами возникновения ошибок операторов при реагировании на нештатные ситуации являются: усталость и рассеянность; недостаточный уровень подготовки; отсутствие опыта действий в нештатных ситуациях; неправильное распределение нагрузки на операторов НПУ; психологическая неготовность к действиям в нештатных ситуациях; нечеткие инструкции по действиям в нештатных ситуациях; несовершенный интерфейс «человек-машина». Обоснована целесообразность рассмотрения системы «Операторы НПУ - БПЛА» как замкнутой многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием и предложена структура такой системы. Сформулирован перечень параметров, необходимых для оценки возможностей наземного пункта управления БПЛА по реагированию на нештатные ситуации и предложен алгоритм их вычисления. Определено, что для рассматриваемых исходных данных повышение уровня подготовки операторов позволяет уменьшить: количество БПЛА, которые находятся как в очереди на обслуживание, так и под управлением операторов (на 1,87 БПЛА); среднее время пребывания БПЛА в очереди и под управлением операторов (на 19,4 минуты); количество операторов для обеспечения отсутствия БПЛА в очереди (вдвое). Полученные результаты целесообразно использовать при создании систем поддержки решений при управлении БПЛА и для обоснования необходимого количества операторов НПУ.

Ключевые слова: ошибка оператора, нештатные ситуации, наземный пункт управления, БПЛА, система массового обслуживания, уровень подготовки операторов, полетное задание

Abstract

Features of determining the capabilities of the UAV ground control station to respond to abnormal situations during the monitoring of territories, taking into account the mistakes of operators and their level of training

H.V. Fesenko

The subject of study in this paper is the process of managing a fleet of UAVs in abnormal situations. The goal of the paper is to study the effect of the errors of the operators of the UAV ground control station (GCS) and their level of training on the capabilities of the GCS in responding to abnormal situations. The tasks to be solved are: to analyze literary sources and systematize data on the causes of operator errors, the organization of their training, models for determining the required number of GCS operators; to develop an algorithm for determining the parameters necessary to assess the capacity of GCS for responding to abnormal situations; conduct research in accordance with the stated goal. The following results were obtained. It is shown that the main causes of operator errors when reacting to abnormal situations are: fatigue and dispersal; lack of training; lack of experience to act in abnormal situations; improper distribution of the load on GCS operators; psychological unwillingness to act in abnormal situations; insufficient professional instructions on actions in abnormal situations; imperfect human-machine interface. The expediency of considering the system "GCS operators - UAV" as a closed multi-channel queuing system with waiting is grounded and the structure of such a system is proposed. A list of parameters necessary for assessing the capabilities of the GCS for responding to abnormal situations is formulated and an algorithm for calculating them is proposed. It was determined that, for the considered initial data, increasing the level of operators training reduces: the number of UAVs that are both in the service queue and under the control of operators (by 1.87 UAVs); the average time spent by the UAV in the queue and under the control of the operators (by 19.4 minutes); the number of operators to ensure the absence of UAVs in the queue (twice). The results obtained should be used to create decision support systems for managing UAVs and to substantiate the required number of GCS operators.

Keywords: *operator error, abnormal situation, ground control station, UAV, queuing system, operator training level, flight task*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Fesenko H. (2019). Features of determining the capabilities of the UAV ground control station to respond to abnormal situations during the monitoring of territories, taking into account the mistakes of operators and their level of training. *Engineering of nature management*, (3(13), pp. 118 - 1255.

Подано до редакції / Received: 21.12.2019