

## **Оценка безопасности системы «беспилотный авиационный комплекс-персонал-среда» на основе сценарного анализа**

**Аннотация:** Разработаны основы сценарного анализа в управлении безопасностью эксплуатации и применения социотехнической системы «беспилотный авиационный комплекс-персонал-среда» с учетом погодно-климатических условий, времени суток и сезона с использованием муравьиного алгоритма на основе сценарного подхода.

**Ключевые слова:** беспилотный авиационный комплекс, безопасность, сценарный анализ

В условиях практической эксплуатации беспилотных авиационных комплексов (БАК) различного назначения представляется целесообразным исследование причин возможного снижения профессиональной надежности операторов и инженерно-технического персонала. При этом многообещающим направлением является сценарный анализ безопасности социотехнической системы «БАК-персонал-среда».

Цель работы – разработка сценарного анализа и обоснование сценариев обеспечения безопасности социотехнической системы «БАК-персонал-среда» при индивидуальной и коллективной деятельности операторов и инженерно-технического персонала БАК.

В различных условиях внешней среды и при выполнении различных миссий эксплуатация БАК может осуществляться в девяти специальных режимах полета и предполетной подготовки [1]:

- нахождение на стоянке (условие для высокой надежности);
- руление на взлет (условие для достаточной надежности);
- взлет и набор высоты (условие для достаточной или сниженной надежности);
- полет на заданном высотном эшелоне в район выполнения полетного задания (условие для достаточной или сниженной надежности);

- маневрирование при выполнении полетного задания (условие для сниженной, низкой или критически низкой надежности);
- выполнение полетного задания – миссии полета (условие для достаточной, сниженной или низкой надежности);
- полет на заданном высотном эшелоне в район посадки (условие для достаточной, сниженной или низкой надежности);
- снижение и посадка (условие для сниженной или низкой надежности);
- руление на стоянку (условие для сниженной, низкой или критически низкой надежности).

Возможны три основных режима управления БАК при эксплуатации:

- ручное управление (условия для сниженной, низкой или критически низкой надежности),
- полуавтоматическое управление (условия для достаточной или сниженной надежности),
- автоматическое управление (условия для достаточной или высокой надежности).

Кроме того, необходимо учитывать влияние факторов внешней среды – погодно-климатических условий, времени суток и сезонности. Очевидно, что безопасность системы «БАК-персонал-среда» зависит от неопределенности условий среды, в которой осуществляется эксплуатация самих дронов и их полезной нагрузки. В свою очередь, неопределенность зависит от погодных условий (weather conditions-WC) и сезона года (season of year – SY).

Очевидно, что в зависимости от погодных условий – «ясно» ( $WC=1,0$ ), «облачно» ( $WC=2,0$ ), «пасмурно» ( $WC=3,0$ ), «туман/осадки» ( $WC=4,0$ ), сезона года – «весна» ( $SY=1,0$ ), «лето» ( $SY=2,0$ ), «осень» ( $SY=3,0$ ), «зима» ( $SY=4,0$ ), можно выделить 16 различных вариантов неопределенности (uncertainty – U) при управлении социотехнической системой «БАК-персонал-среда» в соответствии с моделью, описывающей уровень неопределенности в баллах (1)

$$U = \prod_{i=1}^4 WC_i \cdot SY_i \leq 16. \quad (1)$$

При этом определены пять диапазонов неопределенности:

- 1) низкий ( $1,0 \leq U \leq 2,0$ );
- 2) допустимый ( $2,0 < U \leq 4,0$ );
- 3) средний ( $4,0 < U \leq 6$ );
- 4) высокий ( $6 < U \leq 9$ );
- 5) критический ( $9 < U \leq 16$ ).

При этом неопределенность обеспечивает формирование риска аварийных инцидентов при эксплуатации БАК в сложных метеорологических и сезонных условиях, а также в темное время суток в соответствии с моделью, описывающей уровень риска в баллах (2)

$$R = D \prod_{i=1}^4 WC_i \cdot SY_i \leq 160, \quad (2)$$

где  $D$  – суммарная величина ущерба от возможных потерь технических компонентов БАК (дрон+полезная нагрузка) вследствие аварийных инцидентов, возникающих при их эксплуатации в условиях с высокой неопределенностью факторов внешней среды (причем  $1 \leq D \leq 10$ ).

Определены пять диапазонов риска возникновения аварийных инцидентов и нарушения безопасности социотехнической системы «БАК-персонал-среда»:

- 1) низкий ( $1 \leq U \leq 20$ );
- 2) допустимый ( $20 < U \leq 40$ );
- 3) средний ( $40 < U \leq 60$ );
- 4) высокий ( $60 < U \leq 90$ );
- 5) критический ( $90 < U \leq 160$ ).

Принимая во внимание многорежимность управления социотехнической системой «БАК-персонал-среда», для обеспечения ее безопасности целесообразно использовать сценарный подход. Традиционно, сценарный подход минимально включает анализ трех вариантов: оптимистический (позитивный), инерционный (базовый), пессимистический (негативный). Учитывая три режима управления, можно предположить возможность девяти различных сценариев обеспечения безопасности социотехнической системы «БАК-персонал-среда».

Предложен подход к выбору и оценке сценариев безопасной

эксплуатации социотехнической системы «БАК-персонал-среда» на основе муравьиного алгоритма. При переходе из одного режима применения БАК в другой эффективность математической модели может снижаться. При этом степень эффективности в момент времени  $t$  в режиме применения  $D_{ij}$  будет соответствовать  $\tau_{ij}(t)$ .

Для описания вероятности реализации сценариев эксплуатации социотехнической системы «БАК-персонал-среда»  $\left( P_{ij,k}(t) \right)$  предложена математическая модель надежности при переходе из одного режима применения БАК в другой режим эксплуатации и применения при соответствующих погодных условиях ( $i$ ) и времени суток ( $j$ ) течение некоторого интервала времени  $\tau_{ij}(t)$ . При этом безопасной эксплуатации социотехнической системы «БАК-персонал-среда» может быть определена соотношением (3)

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [R_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{lj}(t)]^\alpha \cdot [R_{lj}(t)]^\beta}, \\ P_{ij,k}(t) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\alpha, \beta$  – параметры, задающие веса моделей надежности БАК в различных погодно-климатических условиях и в различное время суток,

$R_{ij}(t)$  – показатель риска аварийного инцидента БАК.

При  $\alpha=0$  выбирается наиболее простая модель надежности профессиональной деятельности операторов и инженерно-технического персонала БАК, при  $\beta=0$  – выбирается сценарий с наибольшим уровнем сложности. Причем параметры  $\alpha$  и  $\beta$  варьируют от 1 до 5.

Модель муравьиного алгоритма обеспечивает выбор сценариев эксплуатации технических компонентов БАК (дрон+полезная нагрузка). Очевидно, что с течением времени вероятность выбора менее эффективного сценария безопасной эксплуатации БАК возрастает. Это обусловлено тем, что эффективность модели прямо пропорциональна ее целевой функции (4)

$$\Delta \tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} QE_k(t), (i,j) \in T_k(t), \\ 0, (i,j) \notin T_k(t), \end{cases}, \quad (4)$$

где  $Q$  – параметр, имеющий значение порядка общей целевой функции эксплуатации и применения БАК (задается лицом, принимающим решение);

$E_k(t)$  – целевая функция  $k$ -го режима применения БАК на всем интервале его эксплуатации  $T_k(t)$ .

Снижение («испарение») эффективности математической модели с течением времени и при смене режима применения БАК можно определить выражением (5)

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-q) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij,k}(t), \quad (5)$$

где  $m$  – количество моделей,

$q$  – коэффициент снижения эффективности ( $0 \leq q \leq 1$ ) модели при смене режима эксплуатации и применения БАК в различные периоды суток и условиях погоды.

Разработаны математические модели динамики функциональной надежности и работоспособности оперативного и инженерно-технического персонала БАК в течение года, недели и суток. Показано, что наиболее опасными месяцами в отношении аварийности БАК и принятия ошибочных решений операторами являются декабрь-январь и август-сентябрь, а наиболее опасными днями недели – четверг и пятница.

Для повышения эффективности выбора сценариев безопасной эксплуатации БАК с использованием муравьиного алгоритма его целесообразно дополнить моделью функции  $z(t)_i$ , описывающей функциональную надежность и работоспособность персонала БАК в зависимости от времени суток (6)

$$z(t)_i = \begin{cases} 1) \exp(t^2 - 10t - C_1), & 6\text{ч} < t \leq 15\text{ч}, C_1 = 18; \\ 2) \exp(t^2 - 17t - C_2), & 15\text{ч} < t \leq 22\text{ч}, C_2 = 146; \\ 3) \exp(t^2 - 44t + C_3), & 22\text{ч} < t \leq 6\text{ч}; C_3 = 234. \end{cases} \quad (6)$$

Данная модель включает параболические модели функциональной надежности и работоспособности в трех интервалах циркадианного цикла операторов и инженерно-технического персонала БАК: от 6 до 15 ч, от 15 до 22 ч, от 22 до 6 ч.

Установлено, что наиболее опасным периодом времени суток в отношении снижения функциональной надежности и работоспособности оперативного и инженерно-технического персонала БАК, а также аварийности авиационной техники является временной интервал с 01.00 ч до 05.00 ч.

Необходимо отметить, что эффективность ( $\eta_{ij}$ ) различных сценариев безопасности эксплуатации и применения БАК, обратно пропорциональна уровню сложности (многофакторности) каждого сценария  $C_{ij}$  (7)

$$n_{ij} = \frac{1}{C_{ij}}. \quad (7)$$

При этом уровень сложности каждого сценария  $C_{ij}$  предполагает учет и анализ условий внешней среды, погодно-климатических факторов, а также времени суток, дня недели, месяца года, а также сезонности.

Таким образом, на основе представлений муравьиного алгоритма и его модели предложены 3 глобальных сценария эксплуатации и применения БАК (оптимистический, нейтральный и пессимистический) и до 75 локальных сценариев эксплуатации и применения БАК с учетом различных погодно-климатических условий, периодов времени суток, дней недели и месяцев и сезонов года.

#### Литература:

1. Давыдовский А.Г. Анализ надежности социотехнической системы «персонал – беспилотный авиационный комплекс – среда» // Авиационные системы в XXI веке. Тезисы докладов юбилейной Всероссийской научно-технической конференции. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2022. – С. 125-127.