

5. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Логинов Е.Л. Применение экономико-математических методов и моделей оптимального планирования в цифровой экономике будущего (ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН: прогностическая интерпретация и развитие научного наследия нобелевских лауреатов Л.В. Канторовича и В.В. Леонтьева). – М.: ЦЭМИ РАН, 2022. – 248 с.

6. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. «Цифровые двойники» как инструмент раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации на объектах топливно-энергетического комплекса / Электронные средства и системы управления. Материалы докладов XVI Международной научно-практической конференции (18-20 ноября 2020 г.): в 2 ч. Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2020. – С. 122-125.

7. Иванов В.В., Логинов Е.Л. Формирование информационных систем поддержки принятия решений в сложнопрогнозируемых ситуациях, развивающихся под влиянием природных, техногенных и специальных факторов / Проблемы повышения эффективности научной работы в оборонно-промышленном комплексе России. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Астрахань: Астраханский государственный университет, 2021. – С. 142-146.

8. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. Применение информационно-вычислительных технологий для решения задач мониторинга и управления состоянием энергетического оборудования в ЕЭС России // Экономика. Информатика. – 2021. – Т. 48. № 4. – С. 688-696.

DOI: 10.25728/iccss.2023.34.88.070

Давыдовский А.Г.

Моделирование надежности персонала беспилотных авиационных комплексов для управления их безопасностью в различных режимах эксплуатации

Аннотация: Разработана и обоснована модель социотехнической системы «персонал-беспилотный авиационный комплекс-среда» (ПБАКС) с учетом моделей

надежности оперативного и инженерно-технического персонала.

Ключевые слова: социотехническая система, беспилотный авиационный комплекс, среда, персонал, моделирование, надежность, безопасность

Целью работы была разработка математических моделей динамики профессиональной надежности операторов и инженерно-технического персонала в различных режимах применения беспилотных авиационных комплексов (БАК) на основе положений теории управления социотехническими системами. Подобный подход позволяет учитывать и анализировать роль и влияние персонала, а также факторов внешней среды на надежность БАК. При этом предложена гипотеза социотехнической системы «персонал-БАК-среда» (СТС ПБАКС), для описания которой предложены семь различных ее конфигураций и соответствующие им модели. В качестве методологического обоснования построения моделей динамики профессиональной надежности операторов и инженерно-технического персонала в различных режимах применения. Предложена и обоснована карта режимов применения БАК, включающая три основных и девять специальных режимов. В качестве режимов применения БАК рассмотрены и обоснованы три основных режима применения БАК: ручное управление, полуавтоматическое управление, автоматическое управление. Кроме того, выделены и охарактеризованы девять специальных режимов применения БАК в соответствии с различными режимами полета и предполетной подготовки: нахождение на стоянке; руление на взлет; взлет и набор высоты; полет на заданном высотном эшелоне в район выполнения полетного задания; маневрирование при выполнении полетного задания; выполнение полетного задания (миссии полета); полет на заданном высотном эшелоне в район базирования; снижение и посадка; руление на стоянку [1].

Показано, что в каждом из этих режимов состояние СТС ПБАКС характеризуется различными параметрами и уровнями надежности и безопасности эксплуатации.

В этой связи разработаны семь структурно-функциональной конфигураций СТС ПБАКС. В первой конфигурации все три

компонента имеют одинаковое влияние на комплексную надежность СТС ПБАКС. Во второй, третьей и четвертой конфигурации ведущую роль в комплексной надежности играют, соответственно, персонал, инфраструктура БАК и факторы среды. Соответственно, разработаны семь различных формальных модели СТС ПБАКС с учетом надежности оперативного и инженерно-технического персонала (1):

$$P_1 = 1 - (1 - P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}})(1 - P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}})(1 - P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}}) \quad (1)$$

где $P_{\Pi}^{\omega\Pi}$, $P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}}$ и $P_{\text{С}}^{\omega\text{С}}$ – показатели комплексной надежности, соответственно, персонала, БАК и среды в составе социотехнической системе ПБАКС;

$\omega\Pi$, $\omega\text{БАК}$ и $\omega\text{С}$ – удельно-весовой коэффициент (УВК) влияния, соответственно, персонала, БАК и среды на надежность СТС ПБАКС.

Для конфигураций с ведущей ролью персонала, БАК и среды в управлении комплексной надежности СТС ПБАКС предложены, соответственно, модели (2 – 4):

$$P_2 = P_{\Pi}^{\omega\Pi} \left(1 - (1 - P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}})(1 - P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}}) \right); \quad (2)$$

$$P_3 = P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}} \left(1 - (1 - P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}})(1 - P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}}) \right); \quad (3)$$

$$P_4 = P_{\text{С}}^{\omega\text{С}} \left(1 - (1 - P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}})(1 - P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}}) \right). \quad (4)$$

Пятая конфигурация СТС ПБАКС предусматривает последовательное соединение всех базовых компонентов в соответствии с моделью (5):

$$P_5 = P_{\Pi}^{\omega\Pi} P_{\text{БАК}}^{\omega\text{БАК}} P_{\text{С}}^{\omega\text{С}}. \quad (5)$$

Шестая конфигурация предусматривает выделение трех отдельных модулей, включающих базовые компоненты СТС ПБАКС, согласно модели (6):

$$P_6 = k_1 \left(1 - (1 - P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}}) (1 - P_C^{\omega_C}) \right) \left(1 - (-P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}}) (1 - P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}}) \right) + k_2 \left((1 - P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}} P_C^{\omega_C}) (1 - P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}} P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}}) \right). \quad (6)$$

Седьмая конфигурация предусматривает рассмотрение всех выше предложенных конфигураций согласно модели (7):

$$P_7 = k_1 \left(1 - (1 - P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}} P_C^{\omega_C}) (1 - P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}} P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}}) \right) + k_2 \left((1 - P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}} P_C^{\omega_C}) (1 - P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}} P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}}) \right) + k_3 \left(1 - P_{\text{П}}^{\omega_{\text{П}}} P_C^{\omega_C} P_{\text{БАК}}^{\omega_{\text{БАК}}} \right), \quad (7)$$

где k_i – средневзвешенный показатель итогового показателя каждого блока или варианта конфигурации схемы структурно-функциональной организации СТС ПБАКС.

Кроме этого, обоснована типология операторов СТС ПБАКС, включающая четыре основных и двенадцать переходных типов:

- «идеальный оператор» – неопасный, актуально и потенциально безопасный;
- «неопасный оператор» – безопасный в настоящем, но потенциально опасный в будущем;
- «безопасный оператор» – безопасный в текущий момент времени и в прогнозируемом будущем, но потенциально небезопасный в критических ситуациях применения БАК в настоящем или прогнозируемом будущем;
- «аварийный оператор» – опасный в настоящий период времени и потенциально небезопасный в прогнозируемом будущем.

На основе предложенной патологии разработана экспоненциальная модель (8) надежности СТС ПБАКС на основе учета показателей надежности оперативного персонала ($P_{\text{ОП}}$), инженерно-технического персонала ($P_{\text{ИТП}}$), технических средств и компонентов БАК ($P_{\text{БАК}}$) и факторов среды (P_C):

$$P = \exp\left(\int_{t_0}^t (a_0 + a_1 P_{\text{ОП}} + a_2 P_{\text{ИТП}} + a_3 P_{\text{БАК}} + a_4 P_{\text{С}}) dt\right). \quad (8)$$

Безопасность эксплуатации СТС ПБАКС существенно зависит от группы факторов, определяющих надежность оперативного и инженерно-технического персонала в соответствии с моделью (9), учитывающей надежность оперативного и инженерно-технического персонала, технических компонентов и средств, а также факторов среды применения БАК (9):

$$P(t) = \prod_{i=1}^n (1 - P_{\text{ОП}}(t))^{w_{\text{ОП}}} (1 - P_{\text{ИТП}}(t))^{w_{\text{ИТП}}} (1 - P_{\text{БАК}}(t))^{w_{\text{БАК}}}. \quad (9)$$

При этом каждый из вышеназванных факторов (f_{Xi}) можно рассчитать на основе следующего выражения (10):

$$P_i = \frac{\exp\left(\frac{f(t)_{Xi} - \langle f_{Xi} \rangle}{f_{Xi(max)} - f_{Xi(min)}}\right)}{1 + \exp\left(\frac{f(t)_{Xi} - \langle f_{Xi} \rangle}{f_{Xi(max)} - f_{Xi(min)}}\right)}. \quad (10)$$

где $f_{Xi(max)}$, $f_{Xi(min)}$, $\langle f_{Xi} \rangle$ и $f(t)_{Xi}$ – максимальное, минимальное, среднее и текущее значение i -го фактора из группы факторов X.

Надежность социотехнической системы ПБАКС может быть удовлетворительно охарактеризована на основе системного анализа каждой группы ее образующих факторов в отдельности. Полагая, что каждый i -й компонент системы ПБАКС можно рассмотреть с помощью математической модели на основе системы дифференциальных уравнений (11):

$$\frac{dP_{\text{ПБАКС}}(i)}{dt} = \alpha_i - \beta_i t + \gamma_i P_{\text{ПБАКС}}(i), \quad (11)$$

где α_i – постоянная (параметр) базового уровня надежности СТС ПБАКС;

β_i – постоянная (параметр) снижения надежности системы с течением времени;

γ_i – постоянная (параметр) автолимитирования прироста надежности системы в течение времени под влиянием уже достигнутого уровня этой характеристики;

t – время.

После интегрирования уравнения (11), получены выражения для расчета надежности оператора на основе комплекса профессионально важных и медико-биологических характеристик, опыта профессиональной деятельности и профессиональных компетенций (12):

$$P = \left[-\frac{\beta_i}{2} \left(1 + \frac{1}{\gamma_i}\right) t^2 + \alpha_i \left(1 + \frac{1}{\gamma_i}\right) t + K \right] \exp(-2\gamma_i t), \quad (12)$$

где K – постоянная интегрирования.

Кроме того, предложены формулы для расчета времени достижения минимальных и максимальных значений надежности оперативного и инженерно-технического персонала БАК. Поскольку уравнение (12) – является квадратичным, оно может иметь два корня, представляющие его решениями и характеризующие значения времени с минимальными значениями надежности оперативного и инженерно-технического персонала БАК (13):

$$t_{1,2} = -\frac{\alpha_i}{\beta_i} \pm \frac{\sqrt{\left(\alpha_i \left(1 + \frac{1}{\gamma_i}\right)\right)^2 + 2\beta_i K \left(1 + \frac{1}{\gamma_i}\right)}}{\beta_i \left(1 + \frac{1}{\gamma_i}\right)}. \quad (13)$$

Очевидно, что, учитывая экспертный характер параметров, входящих в это выражение, необходимо соблюдать условие:

$$\beta_i \left(1 + \frac{1}{\gamma_i}\right) > 0, \quad (14)$$

или после преобразования: $\gamma_i > -1$ (причем: $\gamma_i \neq 0$).

Очевидно, что значение параметра γ_i могут находиться в интервалах: $-1 < \gamma_i < 0$ и $0 < \gamma_i < +\infty$. Кроме того, как следует из дифференциального уравнения (16), время достижения максимального значения надежности системы ПБАКС ($P_{\text{ПБАКС}(i)} \rightarrow 0$) (15):

$$P_{\text{ПБАКС}(i)\max} = \frac{\beta_i t - \alpha_i}{\gamma_i}. \quad (15)$$

Время достижения максимума надежности персонала (16):

$$t_{\max} = \frac{\alpha_i - \gamma_i P_{\text{ПБАКС}(i)\max}}{\beta_i}. \quad (16)$$

Из допущения, что: $\alpha_i - \gamma_i P_{\text{ПБАКС}(i)\max} > 0$ и $P_{\text{ПБАКС}(i)\max} \rightarrow 0$ следует, что: $\alpha_i > \gamma_i$.

Предложенная математическая модель является вариативной по отношению к различным факторам [2] для обеспечения безопасности БАК в различных условиях эксплуатации.

Литература:

1. *Давыдовский А.Г.* Информационно-аналитическая система превентивного управления надежностью оперативного и инженерно-технического персонала при эксплуатации беспилотных авиационных комплексов / Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами: Тезисы докладов научно-технической конференции. – Тамбов: ООО фирма «Юлис», 2022. – С. 122-124.

2. *Давыдовский, А.Г.* Анализ надежности социотехнической системы «персонал-беспилотный авиационный комплекс-среда» / Тезисы докладов юбилейной Всероссийской научно-технической конференции «Авиационные системы в XXI веке». Москва, 21-22 апреля 2022 года. – М.: Государственный научно-

Козлов А.Д., Нога Н.Л.

Метод оценки риска, связанного с субъективными факторами, в интеллектуальных транспортных системах

Аннотация: Авторами предложен метод оценки риска, связанного с субъективными факторами, которые могут оказывать влияние на достижение конечных целей создания и развертывания интеллектуальных транспортных систем, включая повышение безопасности дорожного движения, оценивается риск с помощью метода нечеткой логики.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, участник и пользователь транспортной системы, субъективные факторы, нечеткая логика, оценка риска

Введение

В настоящее время в целях повышения эффективности использования дорожной сети, организации и безопасности дорожного движения все чаще используются интеллектуальные транспортные системы (ИТС). Наибольший эффект достигается при комплексном использовании ИТС в системах «Умный город» [1].

В соответствии с ГОСТ Р 56829–2015 интеллектуальная транспортная система представляет из себя автоматизированную систему управления, интегрирующую современные информационные и телематические технологии. Как любая автоматизированная система ИТС состоит из комплекса средств автоматизации и персонала, реализующих информационную технологию выполнения установленных функций.

Технический комплекс средств автоматизации может быть подвергнут угрозам, реализация которых приведет к риску потери целостности, доступности или конфиденциальности системы. В настоящее время количество внешних атак на информационные