

Анализ биоритмов в моделировании рисков снижения функциональной надежности персонала беспилотных авиационных комплексов

Аннотация: Предложен подход оценки риска функциональной надежности персонала беспилотных авиационных комплексов на основе системного анализа индивидуальных биоритмов. Разработан проект информационно-аналитической системы для непрерывного мониторинга и поддержки функциональной надежности и надежности профессиональной деятельности персонала БАК на основе системного анализа медико-биологических, психофизиологических и социально-психологических характеристик человека, мониторинга и оценки состояния индивидуальных биоритмов персонала, а также времени суток, дня недели и месяца года.

Ключевые слова: беспилотный авиационный комплекс, биологические ритмы, персонал, функциональная надежность, работоспособность, риск

Цель работы – обоснование и анализ возможности моделирования рисков снижения функциональной надежности (ФН) персонала беспилотных авиационных комплексов (БАК) на основе использования биологических ритмов организма человека.

Биоритмы – регулярные изменения физиологических и поведенческих процессов в организме человека. Важнейшими биоритмами являются суточные, или циркадные, а также сезонные и лунные циклические изменения активности жизнедеятельности. Эти биоритмы играют важную роль в регуляции функциональной активности и работоспособности человека, в т.ч. операторов и инженерно-технического персонала БАК. Важнейшее место среди других занимают циркадные биоритмы человека, имеющие период 24 ± 4 ч. Циркадные биоритмы контролируют сон и бодрствование, гормональный фон, стрессоустойчивость, психологическую и физическую работоспособность [1]. В зависимости от времени суток изменяются характеристики внимания, способность к концентрации,

скорость реакции, работоспособность и утомляемость, количество ошибок, совершаемых в процессе профессиональной деятельности. При системном анализе и оценке ФН, надежности профессиональной деятельности и работоспособности при индивидуальной и коллективной работе операторов и инженерно-технического персонала БАК необходимо учитывать пять различных хронотипов:

- утренний хронотип с оптимальной работоспособностью в период с 4 до 9 ч;
- дневной хронотип с оптимальной работоспособностью в период с 9 до 16 ч;
- неопределенный хронотип с оптимальной работоспособностью в период с 16 до 20 ч;
- вечерний хронотип с оптимальной работоспособностью в период с 20 до 22 ч;
- ночной хронотип с оптимальной работоспособностью в период с 22 до 4 ч.

При этом происходит прогнозируемое снижение ФН и работоспособности персонала БАК в период временных интервалов, не соответствующих оптимуму конкретного хронотипа субъекта.

Так, утренний хронотип характеризуется оптимальным уровнем работоспособности в утреннее время с 4 до 9 ч, с 9 до 16 ч – достаточным, с 16 до 20 ч – сниженным, с 20 до 22 ч – низким, а с 22 до 4 ч – низким или критически низким уровнем работоспособности.

Дневной хронотип характеризуется оптимальным уровнем работоспособности в дневное время с 9 до 16 ч, с 4 до 9 ч – повышенным, с 16 до 20 ч – средним, с 20 до 22 ч – сниженным, а с 22 до 4 ч – низким или критически низким уровнем работоспособности.

Неопределенный хронотип характеризуется оптимальным уровнем работоспособности в период времени с 16 до 20 ч, с 4 до 9 ч – низким или критически низким, с 9 до 16 ч – сниженным или низким, с 16 до 20 ч – высоким, с 20 до 22 ч – средним, а с 22 до 4 ч – низким уровнем работоспособности.

Вечерний хронотип характеризуется оптимальным уровнем работоспособности в период времени с 20 до 22 ч, с 4 до 9 ч – низким или критически низким, с 9 до 16 ч – сниженным, с 16 до 20 ч – сниженным или средним, с 20 до 22 ч – высоким, с 22 до 4 ч – сниженным или низким уровнем работоспособности.

Ночной хронотип характеризуется оптимальным уровнем работоспособности в период времени от 22 до 4 ч, с 4 до 9 ч – сниженным или средним, с 9 до 16 ч – низким или критически низким, с 16 до 20 ч – сниженным или низким, с 20 до 22 ч – средним, а в период с 22 до 4 ч – высоким уровнем работоспособности.

В этой связи предложена дискретная модель надежности профессиональной деятельности персонала БАК, которая включает использование поправочного коэффициента на основе оценки надежности персонала по трем биоритмам:

- физиологической активности ($P_{\text{ФизА}}$);
- интеллектуальной активности ($P_{\text{ИнтА}}$);
- эмоциональной активности ($P_{\text{ЭмА}}$).

При этом каждый биоритм характеризуется своими показателями в текущий момент времени. Чтобы рассчитать вероятностный показатель надежности персонала по каждому из трех основных биоритмов предложено использовать логистические преобразования (1–3)

$$P_{\text{ФизА}} = \exp\left(-\exp(-(7 * \alpha - 2))\right), \quad (1)$$

$$P_{\text{ИнтА}} = \exp\left(-\exp(-(7 * \beta - 2))\right), \quad (2)$$

$$P_{\text{ЭмА}} = \exp\left(-\exp(-(7 * \gamma - 2))\right), \quad (3)$$

где параметры α , β и γ рассчитываются по формулам нормировки (4–6)

$$\alpha = \frac{\text{ФизА}_{\text{текущий}} - \text{ФизА}_{\min}}{\text{ФизА}_{\max} - \text{ФизА}_{\min}}, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\text{ИнтА}_{\text{текущий}} - \text{ИнтА}_{\min}}{\text{ИнтА}_{\max} - \text{ИнтА}_{\min}}, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\text{ЭмА}_{\text{текущий}} - \text{ЭмА}_{\min}}{\text{ЭмА}_{\max} - \text{ЭмА}_{\min}}. \quad (6)$$

Тогда вероятность снижения надежности персонала ΔP может быть оценена по показателям трех биоритмов как (7)

$$P_{\text{Биор}} = \varphi_1 P_{\text{ФизА}} + \varphi_2 P_{\text{ИнтА}} + \varphi_3 P_{\text{ЭмА}}, \quad (7)$$

где удельно-весовые коэффициенты φ_1 , φ_2 и φ_3 можно рассчитать как (8–10)

$$\varphi_1 = \frac{P_{\text{ФизА}}}{P_{\text{ФизА}} + P_{\text{ИнтА}} + P_{\text{ЭмА}}}, \quad (8)$$

$$\varphi_2 = \frac{P_{\text{ИнтА}}}{P_{\text{ФизА}} + P_{\text{ИнтА}} + P_{\text{ЭмА}}}, \quad (9)$$

$$\varphi_3 = \frac{P_{\text{ЭмА}}}{P_{\text{ФизА}} + P_{\text{ИнтА}} + P_{\text{ЭмА}}}. \quad (10)$$

При этом вероятность снижения функциональной надежности (ФН) и работоспособности персонала (11):

$$\Delta P = 1 - P_{\text{Биор}} = 1 - (\varphi_1 P_{\text{ФизА}} + \varphi_2 P_{\text{ИнтА}} + \varphi_3 P_{\text{ЭмА}}), \quad (11)$$

На основе тестов для исследования психологических, психофизиологических и социально-психологически характеристик может быть рассчитан показатель каждого из биоритмов (*BioR*) операторов и инженерно-технических специалистов БАК (12)

$$BioR(t) = 100 \sin\left(\frac{2\pi(t-t_0)}{T}\right), \quad (12)$$

где $T = \{23; 28; 33\}$ – периоды биоритмов (в сутках);

$\pi = 3,14$;

t – количество дней, прошедших с даты рождения респондента.

ФН на основе оценки биоритмов физической (ФизА), интеллектуальной (ИнтА) и эмоциональной активности (ЭмА) может быть рассчитана с помощью S-образных логистических моделей (13–15)

$$P_{\text{ФизА}} = \left(1 + \exp\left(\frac{\text{ФизА}_{\text{major}} - \text{ФизА}(t)}{\text{ФизА}_{\text{major}} - \text{ФизА}_{\text{minor}}}\right)\right)^{-1}, \quad (13)$$

$$P_{\text{Инта}} = \left(1 + \exp \left(\frac{\text{Инта}_{\text{major}} - \text{Инта}(t)}{\text{Инта}_{\text{major}} - \text{Инта}_{\text{minor}}} \right) \right)^{-1}, \quad (14)$$

$$P_{\text{Эма}} = \left(1 + \exp \left(\frac{\text{Эма}_{\text{major}} - \text{Эма}(t)}{\text{Эма}_{\text{major}} - \text{Эма}_{\text{minor}}} \right) \right)^{-1}. \quad (15)$$

Интегральный показатель ФН ($\Delta P_{\text{ФН}}$) можно рассчитать на основе учета индивидуальных биоритмов физиологической ($P_{\text{ФизА}}$), интеллектуальной ($P_{\text{Инта}}$) и эмоциональной ($P_{\text{Эма}}$) активности (16)

$$P = 1 - (1 - P_{\text{ФизА}}) \cdot (1 - P_{\text{Инта}}) \cdot (1 - P_{\text{Эма}}) \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i^{\omega_i}) \right), \quad (16)$$

где $P_i^{\omega_i}$ – вероятность снижения ФН и работоспособности персонала по каждому i -му тесту, а ω_i – удельно-весовой показатель рейтинга теста психофизиологического состояния организма субъекта.

Для определения влияния биоритмов на психофизиологическое состояние субъекта важное значение имеет установление индивидуального хронотипа с помощью теста Хорна-Остберга. Кроме того, необходим мониторинг структуры деятельности на основе опросника «Цель-Средство-Результат», динамики устойчивости внимания и работоспособности, личностной и ситуационной тревожности по Ч.Д. Спилбергеру и Ю.Л. Ханину, вероятности развития стресса, индивидуальной физиологической оценки психических состояний с помощью опросника К. Хокка и Х. Хесса.

Динамика ФН и работоспособность оперативного и инженерно-технического персонала БАК может быть оценена с учетом суточных (циркадианных) и сезонных биоритмов. Показано, что наиболее опасными часами с точки зрения снижения ФН и надежности профессиональной деятельности операторов БАК и аварийности авиационной техники является временной интервал с 01.00 ч до 05.00 ч (17)

$$P_d = \exp\left(-\exp\left(-100\sin\left(\frac{2\pi t_1}{24}\right)\right)\right) \rightarrow \min, 1,0 \leq t_1 \leq 5,0. \quad (17)$$

Установлена зависимость динамики аварийности БАК от дня недели. Показано, что четверг и пятница (соответственно, 5-й и 6-й день недели) являются наиболее опасными днями снижения ФН и работоспособности персонала БАК в течение недели (18)

$$P_w = \exp\left(-\exp\left(-100\sin\left(\frac{2\pi t_2}{7}\right)\right)\right) \rightarrow \min, 5 \leq t_2 \leq 6. \quad (18)$$

Установлена зависимость динамики аварийности БАК от месяца года. Показано, что декабрь-январь и август-сентябрь (если допустить, они соответствуют 1-2-му и 9-10-му месяцам года) наиболее опасные периоды снижения надежности персонала БАК на протяжении календарного года (19)

$$P_y = \exp\left(-\exp\left(-100\sin\left(\frac{2\pi t_3}{12}\right)\right)\right) \rightarrow \min, t_3 = \begin{cases} 1 \leq t \leq 2 \\ 9 \leq t \leq 10. \end{cases} \quad (19)$$

Интегральный риск снижения ФН и работоспособности ($Risk_{\text{И}}$) персонала БАК может быть охарактеризован с помощью стохастической математической модели (20)

$$Risk_{\text{И}} = \Delta\tau C(1 - P_{\text{ФН}})(1 - (1 - P_d)(1 - P_w)(1 - P_y)), \quad (20)$$

где $\Delta\tau$ – продолжительность пребывания персонала в условиях, способствующих снижению ФН и профессиональной работоспособности; C – суммарная величина ущерба от возможных потерь технических компонентов БАК (дрон+полезная нагрузка) и недостигнутых результатов применения БАК по причине снижения ФН и работоспособности оперативного и инженерно-технического персонала при индивидуальной и коллективной деятельности.

Таким образом, предложены основные положения стохастической математической модели (1–21) оценки интегрального риска снижения ФН и работоспособности

оперативного и инженерно-технического персонала БАК на основе данных индивидуальных биоритмов физиологической, интеллектуальной и эмоциональной активности, а также с учетом суточной (циркадианной) динамики, дня недели и месяца года.

Литература:

1. *Давыдовский А.Г.* Моделирование надежности персонала беспилотных авиационных комплексов / Авиационные системы в XXI веке. Тезисы докладов юбилейной Всероссийской научно-технической конференции. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2022. – С. 124-125.

Чернов К.В.

О теории опасности антропогенной деятельности

Аннотация: Ставится задача разработки теории опасности антропогенной деятельности. В качестве основного принципа принимается принцип универсального эволюционизма. Опасность представляется проявлением антропогенной деятельности, приводящим к сокращению продолжительности жизни. Обозначаются функции теории. Перечисляются слагаемые теории, нуждающиеся в достоверном обосновании.

Ключевые слова: теория, универсальный эволюционизм, антропогенная деятельность, опасность, функции теории, слагаемые теории

«Предмет опасности является множеством несравненно большим, чем предмет защищенности (безопасности)» [1], поэтому разработка теории опасности антропогенной деятельности представляет собой отдельную задачу.

Понятие «теория» имеет много определений, обобщение которых приводит к следующему. Теория (греч. θεωρία – созерцание, рассмотрение, исследование) – совокупность основных идей в той или иной отрасли (области) знания, имеющих