

Литература:

1. *Агасандян Г.А., Гасанов И.И., Ерешко Ф.И.* Новые подходы в проблеме комплексного управления водными ресурсами. – М: ВЦ РАН, 2003. – 54 с.
2. *Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Кулик О.С., Новиков Д.А.* Механизмы страхования в социально-экономических системах. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 109 с.

Тимме Е.А.

Математическая модель влияния факторов космического полета на качество деятельности космонавта и формирования эргономического риска

Аннотация: В статье представлена математическая модель формирования и оценки эргономического риска, основанная на дозовом подходе к воздействию факторов космического полета. Модель включает систему дифференциальных уравнений для описания динамики дозовых нагрузок и их влияния на качество деятельности космонавта, вероятность ошибок, тяжесть их последствий.

Ключевые слова: космический полет, эргономический риск, человеческий фактор, качество деятельности космонавта, вероятность ошибочных действий

Современные космические миссии (орбитальные, лунные, марсианские) представляют собой крупномасштабные системы, состоящие из многих технически сложных звеньев как в космосе, так и на Земле. Традиционно фокус безопасности сосредоточен на надежности аппаратуры и программного обеспечения системы. В то же время, человек становится самым уязвимым и непредсказуемым звеном в этой системе. Безопасность экипажа напрямую определяет успех и выживаемость всей космической миссии [1].

Обеспечение безопасности длительных космических миссий к Луне и Марсу требует разработки количественных методов оценки и прогнозирования влияния факторов космического полета на работоспособность экипажа и качество его деятельности [2].

Современные подходы к управлению рисками в космонавтике должны учитывать сложное взаимодействие доз физиологических, психологических и средовых факторов, приводящих к нелинейной динамике изменения качества деятельности и вероятности ошибочных действий [3].

В данной работе представлена математическая модель, позволяющая количественно оценивать интегральное влияние факторов космического полета на качество деятельности космонавта и уровень эргономического риска. Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений и может использоваться для прогнозирования, оптимизации режимов работы и разработки целевых контрмер.

1. Факторы космического полета и эргономический риск

Факторы космического полета, при воздействии которых в определенных дозах к определенным функциональным состояниям космонавта и в итоге формируют риски ошибочных действий, которые трансформируются в совокупный эргономический риск показан на рисунке 1.

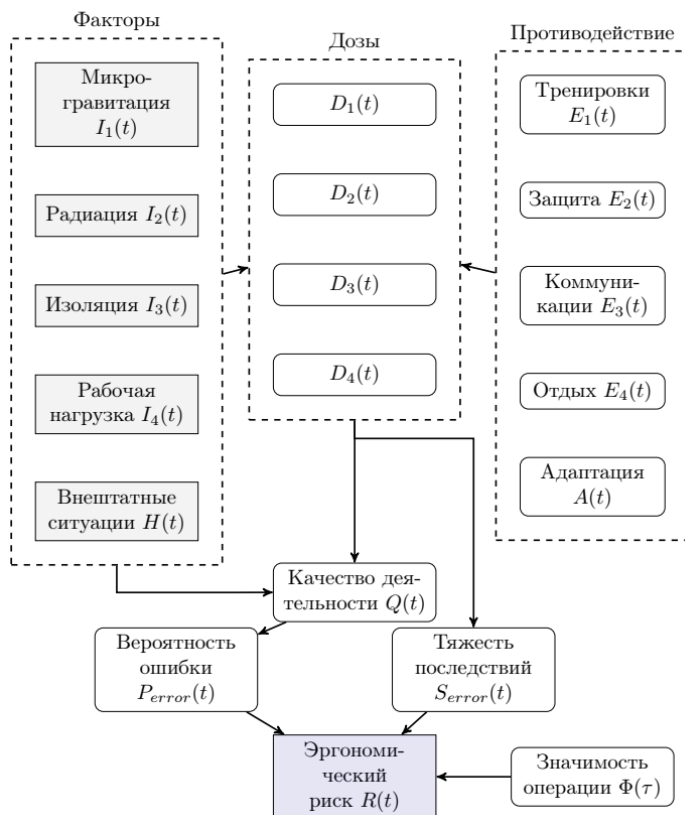


Рисунок 1 – Структурная схема формирования эргономического риска в космическом полете

В предложенной модели рассматриваются четыре ключевых фактора космического полета, оказывающих значимое влияние на качество деятельности космонавта:

- микрогравитация (G-фактор) – вызывает дезадаптацию опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой системы и изменение сенсомоторных функций;
- радиационное воздействие (R-фактор) – приводит к кумулятивным повреждениям органов и тканей организма и вызывает когнитивные нарушения;

- изоляция и ограничение пространства (I-фактор) – обуславливает психологический стресс и снижение мотивации к продолжению миссии;
- рабочая нагрузка (W-фактор): определяет уровень утомления и когнитивной нагрузки.

2. Математическая модель

Качество деятельности может быть описано следующим уравнением

$$Q(t) = Q_0 A(t) \exp \left(- \sum_{i=1}^4 w_i \cdot D_i(t) \right) \quad (1)$$

где Q_0 – базовый уровень качества деятельности;

$A(t)$ – функция адаптации;

$D_i(t)$ – дозовые нагрузки факторов влияния;

w_i – весовые коэффициенты факторов (определяются методом экспертных оценок).

Введем четыре ключевых дозовых фактора, которые накапливаясь во времени приводят к повышению риска ошибочных действий и, следовательно, к снижению качества деятельности и росту эргономического риска

$$\frac{dD_j}{dt} = \alpha_j \cdot I_j(t) - \beta_j \cdot D_j \cdot E_j(t) \quad (2)$$

где $I_j(t)$ – интенсивность воздействия (I_1 – гравитационного, I_2 – радиационного, I_3 – изоляционного, I_4 – рабочего);

$E_j(t)$ – функция восстановления (E_1 – физические тренировки, E_2 – защита от радиации, E_3 – коммуникации, E_4 – отдых);

α_j – коэффициент восприимчивости (или коэффициент накопления дозы) для j -го фактора, он определяет, насколько быстро накапливается дозовая нагрузка под действием интенсивности воздействия;

β_j – коэффициент восстановления (или коэффициент компенсации) для j -го фактора, он определяет эффективность

восстановительных мероприятий по снижению накопленной дозовой нагрузки.

Функция адаптации $A(t)$ описывает способность организма компенсировать негативные воздействия

$$A(t) = A_0 + (1 - A_0) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_A}\right) \right] \cdot \exp\left(-\lambda \int_0^t H(s) ds\right) \quad (3)$$

где A_0 – начальный уровень адаптации;

τ_A – постоянная времени адаптации (сутки);

λ – коэффициент дезадаптации;

$H(s)$ – функция внештатных ситуаций.

Вероятность ошибки космонавта из за воздействия факторов определяется выражением

$$P_{error}(t) = P_0(1 - Q(t)/Q_0) \exp\left[\sum_{i=1}^4 \eta_i \cdot D_i(t)\right] \quad (4)$$

где P_0 – базовая вероятность ошибки (без воздействия факторов);

η_i – коэффициенты влияния дозовых факторов.

Тяжесть последствий ошибки описывается функцией:

$$S_{error}(t) = S_0 \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^4 \kappa_i \cdot \Theta(D_i(t) - D_i^{crit}) \right] \quad (5)$$

где Θ – функция Хевисайда (равная нулю для отрицательных значений аргумента и единице для положительных);

D_i^{crit} – критические значения дозовых факторов;

κ_i – коэффициенты, определяющие вклад i -го фактора в увеличение тяжести последствий ошибки при превышении критических значений дозовых нагрузок.

Интегральный эргономический риск определяется как

$$R(t) = \int_0^t P_{error}(\tau) \cdot S_{error}(\tau) \cdot \Phi(\tau) d\tau \quad (6)$$

где $\Phi(\tau)$ – функция значимости выполняемых операций в момент времени τ (критические, важные, рутинные).

Параметры модели определяются на данных длительных космических миссий и результатах экспериментов в наземных условиях. Функция адаптации учитывает как процессы привыкания к условиям полета, так и эффекты дезадаптации при стрессовых воздействиях. Пороговые значения дозовых факторов определяются на основе медицинских нормативов радиационного воздействия, данных о нарушениях при длительном воздействии микрогравитации, психологических исследований изоляционного стресса и исследований утомления в экстремальных условиях.

Заключение

Предложена математическая модель формирования количественной оценки эргономического риска в длительных космических полетах, основанная на дозовом подходе к воздействию негативных факторов космической среды (микрогравитация, радиация), психофизиологических факторов (утомление) и эргономических факторов деятельности (изоляция, рабочая нагрузка) с учетом внештатных ситуаций и адаптации. Модель представляет собой систему взаимосвязанных уравнений, описывающих динамику накопления дозовых нагрузок и их влияние на ключевые показатели деятельности космонавта.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ - ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0037)

Литература:

1. Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – № 1 (59). – С. 43-64.
2. Тимме Е.А., Петров В.М. Эргономический риск в длительном космическом полете: понятийный аппарат // Теория и практика

прикладных и экстремальных видов спорта. – 2012. – № 2(24). – С. 10-14.

3. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Усов В.М. Инженерия знаний рисков здоровью космонавта, основанная на каскадной схеме защиты организма для лиц опасных профессий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13, №. 1-7. – С. 1812-1815.

Иконников А.С., Сафронов А.И.

Применение дополненного аппарата сетей Петри для моделирования технологического процесса анализа взаимного влияния измеряемых ВИКС физических величин

Аннотация: В работе выполнено обоснование выбора микросервисной архитектуры для составления современного программного обеспечения, использующего возможности искусственных нейронных сетей. Предложено технологические процессы работы микросервисов, классифицируемых как системы преобразования данных, моделировать и описывать при помощи графического аппарата сетей Петри. Представлены примеры такого моделирования.

Ключевые слова: сети Петри, контактная сеть, визуализация данных, технологический процесс, программное обеспечение, ВИКС, диагностика, микросервисы

Передовые информационные системы управления (ИСУ) предназначены для поэтапного решения большого количества взаимосвязанных инженерных задач. Эргономичные оболочки [1] такие системы, как правило, получают не на этапе моделирования, а в процессе сопровождения после внедрения в промышленную эксплуатацию. Это связано с учетом пользовательского опыта (*User eXperience, UX*), раскрывающегося при обучении пользователей и учете пожеланий продвинутых пользователей. Нарращивание состава сервисных функций для продвинутых пользователей в ИСУ