

# ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

А. М. Лушкин

## ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ РИСКОМЕТРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПИЛОТА

**Аннотация.** Предметом исследования являются вопросы учета человеческого фактора при реализации управления функционированием сложных эргатических (человеко-машинных) систем при наличии малого (недостаточного для статистического прогнозирования) объема информации о нештатных (аварийных) ситуациях, обусловленных человеческим фактором, а также предпосылок к развитию таких ситуаций. То есть, решается задача оценивания вероятности события, не наблюдавшегося за исследуемый период, имеющая важное значение для обеспечения превентивного управления эргатической системой с учетом характеристик человеческого фактора. Методология исследования основана на теории функциональных состояний операторов систем “человек-машина”, теории вероятностей, математической статистике. Новизна исследования заключается в разработке технологии прогностического оценивания функциональной надежности пилота по оценке вероятности выхода пилотажных параметров за эксплуатационные ограничения в полете, реализованной в автоматизированной системе управления рисками безопасности полетов. Полученные результаты имеют общий характер, позволяющий применить их для адаптивного управления функционированием любых эргатических систем.

**Ключевые слова:** учет человеческого фактора, управление эргатической системой, функциональная надежность человека, концепция приемлемого риска, управление состоянием системы, статистическое прогнозирование, учет эксплуатационных ограничений, надежность эргатической системы, превентивное управление рисками, мониторинг безопасности.

### Введение

Признание на международном уровне концепции приемлемого риска авиационного происшествия в полете способствует достижению максимальной коммерческой эффективности летной эксплуатации воздушного транспорта, но обостряет проблему обеспечения требуемого уровня безопасности полетов (БП) [1-5]. В разряд нерешаемых переходит задача подготовки пилотов соответствующего профессионального уровня, выполняющих полеты с соответствующей функциональной надежностью, при одновременном снижении времени и затрат, связанных с обучением, вводом в строй, профессиональным ростом, в том числе при допуске к полетам на новых типах воздушных судов (ВС), при назначении командирами ВС, инструкторами и др. [6-9]. Отмеченная проблема усугубляется

накоплением усталости экипажей в периоды интенсивной летной работы, когда налет у основной части пилотов приближается к ограничению по санитарным правилам и нормам [8-14].

В той или иной степени успешное решение коммерческих задач периодически вступает в противоречие с обеспечением требуемого уровня БП, поскольку увеличивается риск авиационного события, причиной которого является недостаточно высокое качество пилотирования вследствие сниженной функциональной надежности профессиональной деятельности летчика [12-17]. Снижение качества пилотирования обуславливает увеличение частоты случаев выхода пилотажных параметров за эксплуатационные ограничения ВС. В свою очередь, выход показателей за эксплуатационные ограничения в полете классифицируется как авиационное событие, подлежащее расследованию: инцидент, серьезный инцидент

или авиационное происшествие (в зависимости от тяжести последствий) [18]. Эксплуатационные ограничения оговариваются Руководством по летной эксплуатации (РЛЭ) типа ВС и охватывают ряд пилотажных параметров, регистрируемых бортовыми средствами регистрации полетных данных (БСРПД): скорость, перегрузка, режимы работы силовых установок, углы крена, тангажа, атаки и др.

### Постановка задачи прогностической рискметрии функциональной надежности пилота

Обычно при принятии решения, связанного с определением профессионального уровня пилота, преобладает субъективная оценка степени готовности пилота к выполнению самостоятельных полетов (или к инструкторской работе). Но функциональные возможности современных БСРПД, средств наземной обработки полетной информации (ПИ), их математическое обеспечение, в том числе экспресс-анализ, способствуют не только оперативности, но и объективности индивидуального оценивания качества пилотирования в каждом отдельно взятом полете. Очевидно, что достигнутый профессиональный уровень летчика должен определяться по некоторой совокупности выполненных полетов, отличающихся, как правило, степенью сложности, а, следовательно, и степенью потенциальной успешности. Должна вестись и максимально использоваться управляемая база данных (БД) ПИ.

При творческом подходе к использованию такой ПИ появляется возможность анализа накапливаемой информации в интересах объективной количественной оценки риска авиационного события, обусловленного выходом пилотажных параметров за эксплуатационные ограничения. Под *оценкой риска* понимается вероятностная мера наступления авиационного события фиксированной степени тяжести (например, авиационного инцидента), вследствие превышения эксплуатационных ограничений ВС.

Пилотажные параметры, на которые распространяются эксплуатационные ограничения, в обязательном порядке регистрируются в накопителях БСРПД. В настоящее время ПИ практически всех полетов подлежит обработке и анализу. Таким образом, теоретически представляется

возможным применительно к каждому командиру экипажа или пилотирувавшему летчику, по совокупности выделенных из ПИ экстремальных значений контролируемых пилотажных параметров, оценить вероятность выхода за эксплуатационные ограничения в полете, то есть вероятность авиационного события типа «инцидент», даже если таких фактов за оцениваемый период летной работы не наблюдалось.

Достижение ограничиваемым параметром  $X$  некоторого (заведомо установленного для конкретного типа ВС) значения  $X_{огр}$  можно рассматривать как реализацию случайного процесса, описываемого функцией  $X(t)$ , а совокупность экстремальных значений ограничиваемого показателя  $\{X_{EXTR}\}$ , имевших место в каждом полете анализируемого периода летной работы, можно рассматривать как случайные величины. По совокупности значений  $\{X_{EXTR}\}$  можно оценивать вероятность выхода показателей полета за эксплуатационные ограничения.

Оценка вероятности выхода случайной функции экстремальных значений контролируемого параметра за предел некоторого значения  $X_{огр}$ , расположенного в непосредственной близости среднестатистического значения  $X_{EXTRcp}$  наблюдаемой совокупности  $\{X_{EXTR}\}$ , не представляет сложности при любом законе распределения [19–24]. Но значение эксплуатационного ограничения параметра и центр распределения его наблюдаемых экстремальных значений обычно оказываются удаленными друг от друга более, чем на  $3\sigma(x)$  ( $\sigma(x)$  – оценка среднего квадратичного (стандартного) отклонения). На практике определить функцию распределения случайной величины за пределами  $m(x) \pm 3\sigma(x)$  ( $m(x)$  – оценка математического ожидания случайной величины  $x$ ) не удастся по причине отсутствия необходимого объема исходных статистических данных. Таким образом, актуальной является задача оценивания вероятности события, как правило, не наблюдавшегося за исследуемый период.

### Особенности плотности распределения экстремальных значений контролируемого пилотажного параметра

Решение сформулированной задачи усложняется еще и тем, что, вид функции распределения случайной величины за пределами  $m(x) \pm 3\sigma(x)$

практически не зависит от вида этой функции в окрестности математического ожидания (в центре распределения). Этим подтверждается потребность и должна обеспечиваться возможность выбора универсального вида функции распределения с определением параметров распределения непосредственно по имеющимся результатам наблюдений.

На рис.1 приведен пример распределения экстремальных значений характерного пилотажного параметра у трех пилотов, отличающихся удалением оценки математического ожидания наблюдений показателя от установленного ограничения ( $m_3(x) > m_2(x) > m_1(x)$ ) и оценкой стандартного отклонения наблюдений ( $\sigma_1 = \sigma_3; \sigma_2 > \sigma_1, \sigma_3$ ).

Из примера видно, что математическое ожидание экстремальных значений характерного параметра  $X$  у третьего пилота значительно ближе к  $X_{огр}$ , чем у первого и второго, однако наивысшая вероятность выхода за  $X_{огр}$  – у второго пилота, из-за большой дисперсии, то есть нестабильности, которую можно объяснить, к примеру, зависимостью  $f(X)$  как от качества пилотирования, так и от условий полета: в нормальных условиях – высокое качество, но при любом усложнении условий полета качество пилотирования резко снижается

вплоть до возможного выхода за эксплуатационные ограничения.

### Технология расчёта вероятности выхода контролируемого пилотажного параметра за установленные ограничения

Пусть по результатам оцениваемых полетов некоторого летчика  $A$  имеем совокупность из  $n$  экстремальных значений характерного параметра  $X$  в  $n$  полетах. Представим их в виде вариационного ряда возрастающих значений:

$$X_{EXTR.1} < X_{EXTR.2} < \dots < X_{EXTR.i} < \dots < X_{EXTR.n}$$

Оценим статистическую вероятность  $\hat{P}_i(X_{EXTR})$  (накопленную частоту неперевышения всеми членами ряда  $\{X_{EXTR.i}\}$  значения  $X_i$  по формуле  $\hat{P}_i(X_{EXTR.i}) = \frac{i}{n+1}$ :

$$\hat{P}_1 < \hat{P}_2 < \dots < \hat{P}_i < \dots < \hat{P}_n$$

Точки  $(X_{EXTR.i}, \hat{P}_i)$  принадлежат функции распределения  $\hat{P}(X_{EXTR})$  (рис.2).

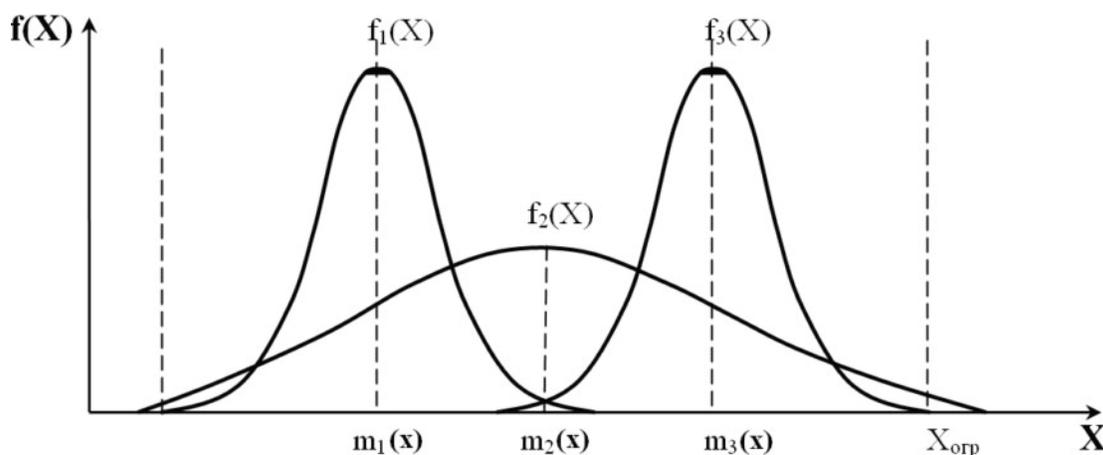


Рисунок 1. – Типовые плотности распределения экстремальных значений контролируемого пилотажного параметра.

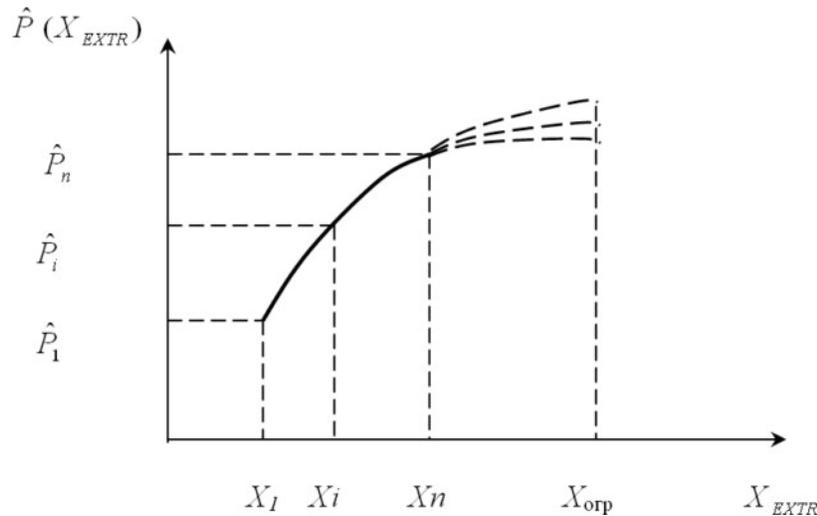


Рисунок 2. – Функция распределения экстремальных значений характерного пилотажного параметра.

Продление функции распределения  $\hat{P}(X_{EXTR})$  за точку  $(X_{EXTR.n}, \hat{P}_n)$  до пересечения с вертикалью  $X_{огр}$  позволило бы получить искомую оценку вероятности неперевышения установленного эксплуатационного ограничения, т.е. получить значение функции  $\hat{P}(X_{EXTR.огр})$ . Но независимо от способа восстановления или экстраполяции функции  $\hat{P}(X_{EXTR})$  однозначную функцию распределения на интервале  $[X_n, X_{огр}]$  получить невозможно в силу высокой степени неопределенности, что и отражено на рис. 2 размножением возможных вариантов в некоторой точке бифуркации  $(X_{EXTR.n}, \hat{P}_n)$ .

В тех случаях, когда экстремальные значения характерного параметра  $X$  в разных реализациях (наблюдениях) не зависят друг от друга (как правило, это разные полеты или разные этапы полета), а случайная величина  $X$  не ограничена ни справа, ни слева, закон ее распределения описывается функцией [21–24]:

$$P(X_{EXTR}) = p(X_{EXTR} < X_{EXTR.i}) = \exp(-e^{-Y}),$$

где  $p(X_{EXTR} < X_{EXTR.i})$  – вероятность неперевышения независимой переменной  $X_{EXTR}$  значения  $X_{EXTR.i}$ ;

$Y$  – линейная функция переменной  $X_{EXTR}$  с неизвестными параметрами (нормированное отклонение).

Из записанной формулы следует связь нормированного отклонения  $Y$  с аргументом  $X_{EXTR}$  через статистическую вероятность  $\hat{P}(X_{EXTR})$ :

$$Y = -\ln[-\ln \hat{P}(X_{EXTR})]$$

В координатах  $(X_{EXTR}, Y)$ , т.е.  $(X_{EXTR}, \{-\ln[-\ln \hat{P}(X_{EXTR})]\})$  точки  $(X_{EXTR.i}, Y_i)$  располагаются не на прервавшейся экспоненте, а на прямой линии (рис.3), экстраполяция которой до значения  $X_{EXTR.огр}$  позволяет рассчитать значение  $Y_{огр}$ , а по нему – оценку вероятности невыхода за эксплуатационные ограничения, используя формальное представление закона распределения случайной величины  $X$ :

$$p(X_{EXTR} < X_{огр}) = \exp(-e^{-Y_{огр}}).$$

Соответственно, вероятность выхода параметра  $X$  за эксплуатационные ограничения определяется как:

$$q_{огр} = 1 - p(X_{EXTR} < X_{огр}).$$

Достоверность оценки вероятности выхода пилотажных параметров за эксплуатационные ограничения зависит от дисперсии параметра (переменной  $X_{EXTR}$ ) и количества наблюдений (оцениваемых полетов) [24]. Практика показала,

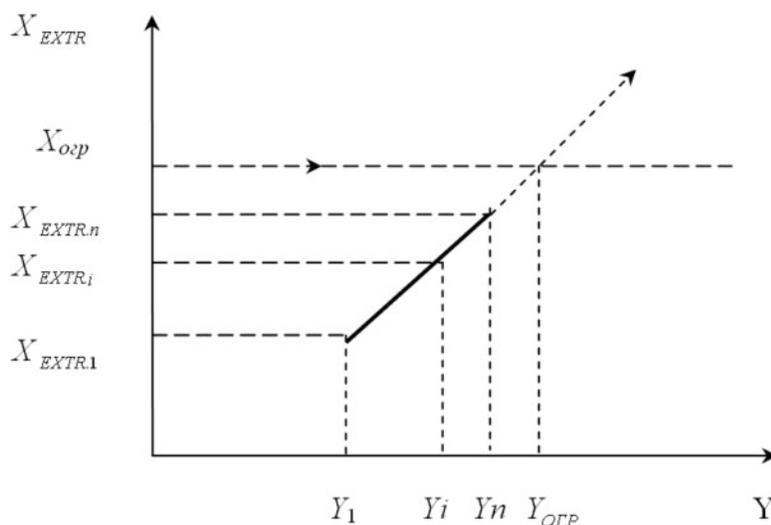


Рисунок 3. – График функции  $X_{EXTR} = F(Y)$ , где  $Y = -\ln[-\ln \hat{P}(X_{EXTR})]$

что для получения приемлемой достоверности (при доверительной вероятности 0,8) обычно требуется информация не менее пяти выполненных полетов.

Если общее количество параметров полета, имеющих эксплуатационные ограничения на конкретном типе ЛА и регистрируемых в полете, равно  $m$ , то вероятность выхода за эксплуатационные ограничения (по любому параметру) в предстоящем полете составляет

$$Q_{\Sigma} = 1 - \prod_{j=1}^m p_j.$$

#### Множество наиболее важных пилотажных параметров, имеющих эксплуатационные ограничения

При практической реализации стратегии превентивного управления уровнем БП в авиакомпании [25] методом экспертных оценок к характерным показателям, имеющим эксплуатационные ограничения и в наибольшей степени влияющим на БП в гражданской авиации, отнесены:

- вертикальная перегрузка ( $n_y$ ) на посадке;
- угол крена ( $\gamma$ );
- угол тангажа на взлете ( $v_{взл}$ );
- угол тангажа на посадке ( $v_{пос}$ ).

Целесообразность использования вероятностного подхода к оцениванию редких событий,

обусловленных выходом параметров полета за пределы эксплуатационных ограничений, подтверждается статистикой: за каждый рейс пилоты совершают в среднем 1,84 ошибки, в то время как максимальное количество ошибок на этапе полета – 14 [26]. Это свидетельствует о значительной разнице между среднестатистическим значением количественного показателя и его экстремальным значением.

#### Пример реализации предложенной технологии

В качестве примера, демонстрирующего возможности вышеизложенного подхода, на рис. 4 приведена динамика вероятности грубой посадки (превышение эксплуатационного ограничения  $n_y = 2$ ) у командира ВС Boeing 737, совершившего грубую посадку ( $n_y = 2,18$ ) в июле 2009.

Из рис. 4 видно, что увеличение вероятности грубой посадки  $q$  могло быть спрогнозировано в мае, за 2 месяца до инцидента, по тенденции ежемесячного линейного роста функции  $\lg q$ . Т.е. вероятность грубой посадки у данного командира ВС увеличивалась на два порядка (в 100 раз!) ежемесячно. Однако корректирующие меры не были предприняты. В результате в одном из полетов в июле вертикальная перегрузка на посадке составила  $n_y = 2,18$ , т.е. было превышено установленное в

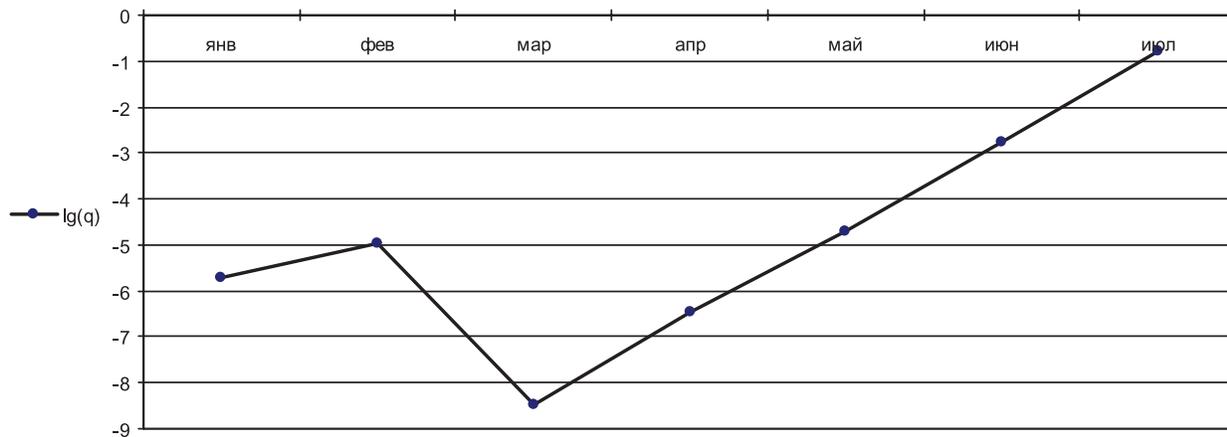


Рисунок 4. – Динамика оценки вероятности грубой посадки для командира Boeing 737.

РЛЭ Boeing 737 ограничение  $n_{\text{юзгр}}=2$ . Оценка вероятности грубой посадки в июле составила 0,3.

### Особенности автоматизированной системы управления рисками при производстве полетов

В связи с трудоемкостью расчетов, требующих от аналитика соответствующего уровня математических знаний, описанная процедура расчета оценки вероятности не имевших место авиационных событий, обусловленных выходом параметров полета за эксплуатационные ограничения, формализована и положена в основу математического обеспечения Автоматизированной системы управления рисками при производстве полетов (АС УРПП), разработанной в авиакомпании «Трансаэро» в 2009 году [27, 28]. АС УРПП позволяет с любой периодичностью, например, ежемесячно, количественно оценивать функциональную надежность каждого пилота с учетом типа ВС, особенностей аэродрома вылета и посадки, в заданном временном интервале (количестве вылетов) и по другим исходным данным. Вычисления могут производиться по всей совокупности или по любому из контролируемых пилотажных параметров. Благодаря внедрению АС УРПП, в авиакомпании ведется ежемесячный мониторинг уровня функциональной надежности всех пилотирующих летчиков.

При освоении новых регулярных линий и новых аэродромов АС УРПП позволяет, начиная с пяти выполненных полетов, оценить вероятность выхода за эксплуатационные ограничения при взлете и посадке на любом из аэродромов. Поскольку динамичное развитие авиакомпании с освоением новых типов ВС и новых линий – очевидный фактор риска авиационного события, в авиакомпании «Трансаэро» с использованием АС УРПП построен рейтинг освоенных аэродромов по риску выхода за эксплуатационные ограничения по перегрузке на посадке и по углу тангажа на взлете и посадке.

### Заключение

Таким образом, разработанная технология прогностического оценивания функциональной надежности пилота, реализованная в АС УРПП, позволяет реализовать индивидуальное априорное оценивание риска авиационного события (инцидента) по группе причинных факторов «экипаж» на наиболее ответственных этапах полета (на взлете и посадке) до того, как будет накоплена статистика авиационных событий, обусловленных выходом пилотажных параметров за эксплуатационные ограничения, что имеет важное значение для обеспечения превентивного управления уровнем безопасности полетов в авиакомпании, а также может использоваться в интересах оптимизации управления функционированием любых эргатических систем.

## Библиография

1. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Методологические аспекты динамического контроля функциональных состояний операторов опасных профессий // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2010. № 4-2. С. 6-12.
2. Гузий А.Г., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Пономаренко А.В., Федоров М.В., Щербаков С.А. Технология синтеза интегральных показателей функционального состояния членов летного экипажа // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 1. С. 52-68.
3. Ушаков И.Б., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Карпов В.Н. Потенциальная ненадежность действий оператора как характеристика степени влияния физико-химических факторов условий деятельности // Безопасность жизнедеятельности. 2001. № 1. С. 24-29.
4. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Гузий А.Г. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы "человек-машина" // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. №5. С. 9 – 14.
5. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Принципы организации контроля и оптимизации функционального состояния операторов // Безопасность жизнедеятельности. 2006. № 1. С. 4-10.
6. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Procedure for synthesizing the index of an operator's psychophysiological stress // Медицинская техника. 2001. № 4. С. 29-33.
7. Богомолов А.В. Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека // Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 11-13.
8. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Психофизиологические механизмы формирования и развития функциональных состояний // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2014. Т. 100. № 10. С. 1130-1137.
9. Дворников М.В., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Матюшев Т.В. Технология синтеза законов управления человеко-машинными системами, эксплуатируемыми в условиях высокого риска гипоксических состояний человека // Двойные технологии. 2014. № 1 (66). С. 8-11.
10. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Информатизация программ персонализированной адаптационной медицины // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. № 5-6. С. 124-128.
11. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Физиология труда и надежность деятельности человека. Под ред. А.И. Григорьева. М.: Наука. 2008. 318 с.
12. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Паттерны функциональных состояний оператора. М.: Наука. 2010. 390 с.
13. Богомолов А.В., Гридин Л.А., Кукушкин Ю.А., Ушаков И.Б. Диагностика состояния человека: математические подходы. М.: Медицина. 2003. 464 с.
14. Максимов И.Б., Столяр В.П., Богомолов А.В. Прикладная теория информационного обеспечения медико-биологических исследований. М.: Бинوم. 2013. 312 с.
15. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Гридин Л.А., Кукушкин Ю.А. Методологические подходы к диагностике и оптимизации функционального состояния специалистов операторского профиля. М.: Медицина, 2004. 144 с.
16. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Гузий А.Г. Принципы построения системы обеспечения жизнедеятельности операторов систем "человек-машина", адаптивных к их функциональному состоянию // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 3. С. 50-55.
17. Гузий А.Г., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Теоретические основы функционально-адаптивного управления системами "человек-машина" повышенной аварийности // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 1. С. 39-44.
18. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации. – М.: Авиаиздат, 1998. – 140 с.
19. Кибардин Ю.А. Использование методов математической статистики в задачах обеспечения безопасности полетов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1989. – 48 с.

20. Базлев Д.А., Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н. Построение характеристических множеств для индивидуально-адаптированной поддержки летчика при выполнении типовых полетных режимов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008, №4, с. 97-108.
21. Гузий А.Г. Методологический подход к управлению риском выхода параметров полета за эксплуатационные ограничения / Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий (Выпуск 21). – М., 2009. С. 213-221.
22. Гумбель Э. Статистическая теория экстремальных значений / Введение в теорию порядковых статистик. – М.: Статистика, 1970. С. 61 – 93.
23. Рудаков И.С., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведении контроля состояния сложных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 66-72.
24. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 8-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2002. 280 с.
25. Гузий А.Г., Лушкин А.М. Методологический подход к формированию корпоративной стратегии управления безопасностью полетов // Проблемы безопасности полетов. № 9, 2008. С. 3-9.
26. Чжоу Ичжи Оптимизация работы экипажа в кабине в Китае: угрозы и исправление ошибок / Краткое содержание выступлений и докладов на 57-м международном семинаре Всемирного Фонда Безопасности Полетов (15 –18 ноября 2004 г.), Шанхай, КНР. – М.: «Некоммерческое партнерство «Безопасность полетов», 2004.
27. Гузий А.Г., Лушкин А.М., Щеглов И.Н., Софийский Д.В. Автоматизация процедур количественного оценивания риска выхода за эксплуатационные ограничения в полете./ Разработка и внедрение корпоративной системы управления безопасностью полетов. Материалы открытой научно-практической конференции авиакомпании «ТРАНСАЭРО» 23 октября 2008 года / Под ред. А.Г. Гузиев. М., 2009. С. 76-79.
28. Гузий А.Г., Лушкин А.М., Щеглов И.Н., Софийский Д.В. Автоматизированная система управления рисками при производстве полетов (АС УРПП). – Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2009614485 от 21.08.2009 – Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам, 2009.

### References (transliterated)

1. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Metodologicheskie aspekty dinamicheskogo kontrolya funktsional'nykh sostoyanii operatorov opasnykh professii // Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh. 2010. № 4-2. S. 6-12.
2. Guzii A.G., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Ponomarenko A.V., Fedorov M.V., Shcherbakov S.A. Tekhnologiya sinteza integral'nykh pokazatelei funktsional'nogo sostoyaniya chlenov letnogo ekipazha // Problemy bezopasnosti poletov. 2007. № 1. S. 52–68.
3. Ushakov I.B., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Karpov V.N. Potentsial'naya nenadezhnost' deistvii operatora kak kharakteristika stepeni vliyaniya fiziko-khimicheskikh faktorov uslovii deyatelnosti // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2001. № 1. S. 24-29.
4. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Guzii A.G. Metodologiya stabilizatsii funktsional'nogo sostoyaniya operatora sistemy "chelovek-mashina" // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2002. №5. S. 9 – 14.
5. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Printsipy organizatsii kontrolya i optimizatsii funktsional'nogo sostoyaniya operatorov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2006. № 1. S. 4-10.
6. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Procedure for synthesizing the index of an operator's psychophysiological stress // Meditsinskaya tekhnika. 2001. № 4. S. 29-33.
7. Bogomolov A.V. Kontseptsiya matematicheskogo obespecheniya diagnostiki sostoyaniya cheloveka // Informatika i sistemy upravleniya. 2008. № 2 (16). S. 11-13.
8. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Psikhofiziologicheskie mekhanizmy formirovaniya i razvitiya funktsional'nykh sostoyanii // Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova. 2014. T. 100. № 10. S. 1130-1137.

9. Dvornikov M.V., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Matyushev T.V. Tekhnologiya sinteza zakonov upravleniya cheloveko-mashinnymi sistemami, ekspluatiruemyimi v usloviyakh vysokogo riska gipoksicheskikh sostoyanii cheloveka // Dvoynye tekhnologii. 2014. № 1 (66). S. 8-11.
10. Ushakov I.B., Bogomolov A.V. Informatizatsiya programm personifitsirovannoi adaptatsionnoi meditsiny // Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk. 2014. № 5-6. S. 124-128.
11. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Fiziologiya truda i nadezhnost' deyatelnosti cheloveka. Pod red. A.I. Grigor'eva. M.: Nauka. 2008. 318 s.
12. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Patterny funktsional'nykh sostoyanii operatora. M.: Nauka. 2010. 390 s.
13. Bogomolov A.V., Gridin L.A., Kukushkin Yu.A., Ushakov I.B. Diagnostika sostoyaniya cheloveka: matematicheskie podkhody. M.: Meditsina. 2003. 464 s.
14. Maksimov I.B., Stolyar V.P., Bogomolov A.V. Prikladnaya teoriya informatsionnogo obespecheniya mediko-biologicheskikh issledovaniy. M.: Binom. 2013. 312 s.
15. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Gridin L.A., Kukushkin Yu.A. Metodologicheskie podkhody k diagnostike i optimizatsii funktsional'nogo sostoyaniya spetsialistov operatorskogo profilya. M.: Meditsina, 2004. 144 s.
16. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Guzii A.G. Printsipy postroeniya sistemy obespecheniya zhiznedeyatel'nosti operatorov sistem "chelovek-mashina", adaptivnykh k ikh funktsional'nomu sostoyaniyu // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. № 3. S. 50–55.
17. Guzii A.G., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Teoreticheskie osnovy funktsional'no-adaptivnogo upravleniya sistemami "chelovek-mashina" povyshennoi avariinosti // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. № 1. S. 39–44.
18. Pravila rassledovaniya aviatsionnykh proisshествii i intsidentov s grazhdanskimi vozdushnymi sudami v Rossiiskoi Federatsii. – M.: Aviaizdat, 1998. – 140 s.
19. Kibardin Yu.A. Ispol'zovanie metodov matematicheskoi statistiki v zadachakh obespecheniya bezopasnosti poletov. – M.: VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 1989. – 48 s.
20. Bazlev D.A., Evdokimenkov V.N., Krasil'shchikov M.N. Postroenie kharakteristicheskikh mnozhestv dlya individual'no-adaptirovannoi podderzhki letchika pri vypolnenii tipovykh poletnykh rezhimov // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. 2008, №4, s. 97-108.
21. Guzii A.G. Metodologicheskii podkhod k upravleniyu riskom vykhoda parametrov poleta za ekspluatatsionnye ogranicheniya / Trudy obshchestva nezavisimyykh rassledovatelei aviatsionnykh proisshествii (Vypusk 21). – M., 2009. S. 213-221.
22. Gumbel' E. Statisticheskaya teoriya ekstremal'nykh znachenii / Vvedenie v teoriyu poryadkovykh statistik. – M.: Statistika, 1970. S. 61 – 93.
23. Rudakov I.S., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Metodika identifikatsii vida zakona raspredeleniya parametrov pri provedeniyu kontrolya sostoyaniya slozhnykh sistem // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 66-72.
24. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnostei: Ucheb. dlya vuzov. – 8-e izd., ster. – M.: Vysshaya shkola, 2002. 280 s.
25. Guzii A.G., Lushkin A.M. Metodologicheskii podkhod k formirovaniyu korporativnoi strategii upravleniya bezopasnost'yu poletov // Problemy bezopasnosti poletov. № 9, 2008. S. 3-9.
26. Chzhou Ichzhi Optimizatsiya raboty ekipazha v kabine v Kitae: ugrozy i ispravlenie oshibok / Kratkoe sodержanie vystuplenii i dokladov na 57-m mezhdunarodnom seminare Vsemirnogo Fonda Bezopasnosti Poletov (15 –18 noyabrya 2004 g.), Shankhai, KNR. – M.: «Nekommercheskoe partnerstvo «Bezopasnost' poletov», 2004.
27. Guzii A.G., Lushkin A.M., Shcheglov I.N., Sofiiskii D.V. Avtomatizatsiya protsedur kolichestvennogo otsenivaniya riska vykhoda za ekspluatatsionnye ogranicheniya v polete./ Razrabotka i vnedrenie korporativnoi sistemy upravleniya bezopasnost'yu poletov. Materialy otkrytoi nauchno–prakticheskoi konferentsii aviakompanii «TRANSAERO» 23 oktyabrya 2008 goda / Pod red. A.G. Guziya. M., 2009. S. 76-79.
28. Guzii A.G., Lushkin A.M., Shcheglov I.N., Sofiiskii D.V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya riskami pri proizvodstve poletov (AS URPP). – Svidetel'stvo o registratsii programm dlya EVM № 2009614485 ot 21.08.2009 – Federal'naya sluzhba po intellektual'noi sobstvennosti i tovarnym znakam, 2009.