

## БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (05.26.02, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 351.814.28

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.34.55.007

### ОБЛИК АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ПАССАЖИРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ВЫСОТНОГО ПОЛЕТА

*Кукушкин Ю.А.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор; Марков Н.А.<sup>2</sup>; Богомолов А.В.<sup>1,3</sup>, д.т.н., профессор;  
Дворников М.В.<sup>1</sup>, д.м.н., профессор; Шишов А.А.<sup>3</sup>, д.м.н., профессор*

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Минобороны России

<sup>2</sup>Научно-производственное предприятие «Топаз»

<sup>3</sup>Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН

#### **Аннотация:**

В статье представлены результаты теоретико-экспериментального обоснования облика автоматизированных информационных систем персонализированного оповещения пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотного полета, реализованных на основе концепции кибер-физических систем. Информирование об опасности чрезвычайной ситуации осуществляется путем расчета в реальном времени оценки резервного времени сохранения сознания. Рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания предъявляется пассажирам воздушного судна с помощью средств визуального и/или голосового информирования, сопряженных с кислородными масками и/или пассажирскими креслами.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация высотного полета, разгерметизация салона воздушного судна, кислородное голодание, безопасность пассажиров воздушного судна, безопасность высотных полетов

### THE APPEARANCE OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS FOR PERSONALIZED NOTIFICATION OF AIRCRAFT PASSENGERS IN EMERGENCY SITUATIONS OF HIGH-ALTITUDE FLIGHT

*Kukushkin Yu.A.<sup>1</sup>, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full  
Professor; Markov N.A.<sup>2</sup>; Bogomolov A.V.<sup>1,3</sup>, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in  
Engineering Sciences, Full Professor; Dvornikov M.V.<sup>1</sup>, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science)  
in Medical Science, Full Professor; Shishov A.A.<sup>3</sup>, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in  
Medical Science, Full Professor*

<sup>1</sup>Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of Russia

<sup>2</sup>Research and Production Enterprise "Topaz"

<sup>3</sup>State Research Center of the Russian Federation -  
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences

### **Abstract:**

The article presents the results of theoretical and experimental substantiation of the appearance of automated information systems for personalized notification of aircraft passengers in emergency situations of high-altitude flight, implemented on the basis of the concept of cyber-physical systems. Informing about the danger of an emergency is carried out by calculating in real time an estimate of the reserve time for preserving consciousness. The calculated estimate of the reserve time for preserving consciousness is presented to the passengers of the aircraft using visual and / or voice information devices coupled with oxygen masks and / or passenger seats.

**Key words:** high-altitude flight emergency, aircraft cabin depressurization, oxygen starvation, aircraft passenger safety, high-altitude flight safety

Решение задачи обеспечения безопасности пассажиров и экипажа в чрезвычайной ситуации высотного полета требует разработки и реализации систем сигнализации и информирования об опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени [1-3]. В соответствии с современным уровнем научно-технического прогресса такие системы должны быть реализованы на основе информационно-технологической концепции кибер-физических систем, подразумевающей интеграцию вычислительных ресурсов в физические процессы [4; 5]. В кибер-физической системе датчики, оборудование и информационные компоненты соединены на протяжении всей цепочки сбора и обработки информации, взаимодействуя друг с другом для прогнозирования, самонастройки и адаптации к изменениям ситуации [6; 7].

Для обеспечения безопасности пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотного полета кибер-физические системы сигнализации и информирования об опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени должны включать защитное снаряжение – в первую очередь кислородные маски [8-12].

Известны многочисленные варианты конструкций авиационных кислородных масок, комплектов кислородного оборудования для экипажей воздушных судов – их основным недостатком является то, что при проектировании не в полной мере учтены ключевые технологические тенденции, лежащие в основе кибер-физических систем [12-15]. Такие технологии позволят повысить безопасность в чрезвычайных ситуациях высотного полета за счет обеспечения персонификации оповещения пассажиров воздушного судна о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета в динамике ее развития.

Проведенные исследования позволили обосновать облик автоматизированных информационных систем персонифицированного оповещения пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотного полета на основе концепции кибер-физических систем. Персонификация информирования пассажиров воздушного судна гражданской авиации с применением такой системы обеспечивается за счет обеспечения учета при расчете величины резервного времени сохранения сознания человеком в условиях гипоксической гипоксии его индивидуальных антропометрических характеристик.

### **Методика расчета оценки резервного времени сохранения сознания в чрезвычайной ситуации высотного полета**

Ситуации, связанные с быстротекущим воздействием на человека среды с малым содержанием кислорода в окружающем воздухе, приводят к развитию у человека гипоксических состояний, обуславливающих высокий риск потери сознания человеком вплоть до его гибели [16-18].

Решение этой задачи требует оценок риска потери сознания человека с учетом влияния гипоксической среды на организм человека. Известные математические модели позволяют рассчитать такую оценку в статических условиях, то есть при сохранении постоянства интенсивности гипоксического воздействия в течение анализируемого интервала времени, что существенно ограничивает область их применения. Преодолеть указанный недостаток можно за счет применения теоретических подходов к нормированию воздействия гипоксической газовой среды на организм человека и моделирования гипоксических состояний, базирующихся на дозовом принципе [13; 19; 20].

Из имеющегося опыта известно, что разность величин парциального давления кислорода на той или иной высоте с учетом времени пребывания на высоте не позволяет привести к единому показателю многочисленные эмпирические данные о величине резервного времени сохранения сознания на различных высотах. Основной причиной этого является сложность учета особенностей компенсаторно-приспособительных механизмов, обеспечивающих перенос кислорода из внешней среды в органы и ткани

[16; 17]. Использование поправочных коэффициентов для различных высот и социо-профессиональных групп людей тоже не позволяет решить эту задачу с качеством, удовлетворяющим потребностям практики [2; 13; 20].

В высотной физиологии получены эмпирические данные, определяющие минимальное, среднее и максимальное резервные времена сохранения сознания при пребывании человека на различных высотах (различном барометрическом давлении) [17].

Анализ зависимостей минимального, среднего и максимального времени сохранения сознания от барометрической высоты, полученных в 12 экспериментальных исследованиях, проведенных в последние 50 лет, позволил сделать вывод о том, что структура зависимости резервного времени сохранения сознания должна быть найдена в классе полиномиальных, степенных, экспоненциальных зависимостей или обратной функции.

Исходя из этого вывода проведена параметрическая адаптация (поиск модели, оптимальной по критерию наименьших квадратов) среди названных структур. Параметрическую адаптацию для каждой структуры зависимости и расчет показателей существенности и адекватности каждой полученной зависимости проводили в пакете программ статистического анализа Statistika ver. 10.0.

Результаты параметрической адаптации (полученные оценки коэффициента детерминации моделей) показали, что наиболее существенная (с максимальным коэффициентом детерминации, равным 0,84) зависимость резервного времени сохранения сознания (Т) от барометрического давления (Р) найдена в классе степенных функций:

$$T = 710 - 21 P^{4,8429} - 11$$

Оценки показателей качества полученной зависимости свидетельствуют о ее адекватности:

- значение квадрата коэффициента множественной корреляции  $R^2=0,84$ ;
- приведённая несмещённая оценка коэффициента детерминации  $R^2=0,79$ ;
- стандартная ошибка вычислений зависимой переменной  $y$ : 34 с;
- нулевая гипотеза о равенстве нулю коэффициента множественной корреляции отвергается ( $p>0,05$ );
- анализ гистограммы нормированных остатков свидетельствует о равномерности распределения точек, то есть об отсутствии грубых ошибок;
- анализ зависимости регрессионных остатков от экспериментальных значений независимой переменной показывает отсутствие тренда на этом графике;
- анализ графика нормированных остатков в зависимости от номера объекта свидетельствует об отсутствии тренда, зависящего от времени, и не учтенного моделью;
- величина критерия Дарбина-Уотсона  $DWS=2,4$  свидетельствует о независимости последовательности ошибок наблюдений (отсутствие автокорреляции).

Таким образом, полученное соотношение обеспечивает расчет оценки резервного времени сохранения сознания в чрезвычайной ситуации высотного полета с качеством, достаточным для адекватного информирования пассажиров воздушного судна об опасности чрезвычайной ситуации высотного полета.

### **Комплекс технических средств коллективного информирования о величине предельного резервного времени сохранения сознания при чрезвычайных ситуациях в высотных полетах.**

Под средствами коллективного информирования понимаются средства, отображаемая информация на которых актуальна для всех пассажиров, находящихся внутри салона.

В случае разгерметизации салона автоматически или принудительно (по решению командира воздушного судна) из контейнеров над сиденьями пассажиров выпадают кислородные маски, подключенные к системе кислородного питания. Пассажир должен подтянуть и надеть кислородную маску, прижать к носу и рту, закрепить маску на голове с помощью креплений, затем помочь надеть кислородную маску другим пассажирам и ждать указаний командира воздушного судна. При этом пассажир не имеет информации о состоянии окружающей газовой среды, что не позволяет оценить реальную опасность жизни и приводит к излишней нервозности, и, особенно в начальный момент времени, к панике.

Для обеспечения информирования человека в случае аварийных (нештатных) ситуаций, сопряженных с воздействием гипоксической гипоксии, предлагается использовать индикатор резервного времени сохранения сознания [12].

Функционирование индикатора резервного времени сохранения сознания человеком в условиях гипоксической гипоксии заключается в следующем:

1. Индикатор с помощью крепления размещается и закрепляется таким образом, чтобы его показания были видны как можно большему числу людей, а входящий в состав индикатора датчик барометрического давления в окружающей газовой среде не был закрыт посторонними предметами, способными исказить измеряемые показатели барометрического давления.
2. После включения индикатора осуществляют съём показаний с датчика барометрического давления с частотой 1 Гц (1 раз в секунду), одновременно аккумулятор автоматически подзаряжается от сети бортового электропитания через разъем сопряжения, а составные части индикатора запитаны через общую шину электропитания.
3. В вычислителе производится динамический расчет оценки резервного времени сохранения сознания человека  $T$ , с, по формуле:

$$T = 7 \times 10^{-21} H^{4,8429} - 11$$

4. Рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания по информационно-управляющей шине поступает в компаратор, где ее сравнивают с величиной 300 с. Если рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания меньше 300 с, то выдается сигнал на включение табло. В цифровых разрядах табло индикатора отображается оценка резервного времени сохранения сознания человека, которая измеряется в реальном времени с дискретностью равной частоте измерения барометрического давления в окружающей среде (1 Гц).

С той же дискретностью рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания человека передается в модуль беспроводного интерфейса для передачи на рабочее место экипажа и на рабочее место специалистов наземных диспетчерских служб. Если при включенном табло индикатора рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания становится большей или равной 300 с, то выдается сигнал на выключение табло индикатора. Как вариант, для более рационального использования индикатора в случае резервного времени более 300 с возможно выводить на экран астрономическое время или текущую высоту полета.

Корпус индикатора резервного времени должен быть выполнен в защищенном исполнении (по международному стандарту защиты устройства от пыли и влаги, степень защиты должна быть не ниже IP 65).

Корпус индикатора и элементная база должны быть выполнены из современных качественных материалов, обеспечивающих его минимальные массогабаритные показатели и необходимую прочность для работы в условиях перегрузок при перелетах.

Размер экрана цифрового индикатора определялся в зависимости от размещения в салоне воздушного судна, показания цифрового индикатора должны быть видны всем пассажирам.

Емкость аккумулятора должна обеспечивать функционирование индикатора в течение восьми часов после отключения от сети электропитания.

Анализ возможных вариантов размещения индикатора резервного времени сохранения сознания человека, выполненного по изложенной типовой схеме в разных вариантах и компоновках позволил определить множество возможных решений [12; 21-23]:

1. Размещение индикатора под табло ЕХИТ. Достоинствами такого варианта является возможность питания индикатора от кабеля, подведенного к табло, и зрительная доступность. Высота в салоне самолета, например, модели Боинг737-400 составляет 220 см, ширина монитора NL6448BC20-21D – 11,8 см. Индикатор резервного времени делается выезжающим из потолочного пространства салона в целях того, чтобы при отсутствии разгерметизации салона, индикатор не уменьшал пространство от пола до потолка. Одним из возможных недостатков может быть плохая видимость для пассажиров задних рядов. Для устранения этого недостатка и для пассажиров, имеющих проблемы со зрением, возможно в блок индикации встроить динамик, через который будет доводиться информация о значении резервного времени сохранения сознания.

2. Размещение индикатора в табло над рядами пассажиров. С 2002 г. запрещено курение на всех рейсах, поэтому, как вариант, можно предложить встроить индикатор резервного времени вместо индикации о запрете курения. В любом случае даже установка индикации через 1-2 ряда позволит более качественно оповещать о резервном времени сохранения сознания.

Выбор места установки индикатора резервного времени сохранения сознания для коллективного информирования пассажиров в салоне воздушного судна зависят от габаритов самолета и чьих интересах отображается информация: пилотов или пассажиров. Во всех случаях основной критерий выбора места размещения индикатора и размеров табло вывода величины резервного времени сохранения сознания – визуальная доступность отображаемой информации для всех пассажиров и членов экипажа.

Достоинствами средств коллективного информирования является небольшое количество размещаемых на борту индикаторов и меньшее число изменений в конструкции салона воздушного судна. Но у этих средств имеется и существенный недостаток. Резервное время сохранения сознания, отображаемое на индикаторе, измеряется без учета индивидуальных особенностей человека, например, частоты дыхания, массы тела и т.д.

### **Комплексы технических средств индивидуального информирования пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотных полетов.**

Под средствами индивидуального информирования понимаются средства отображаемая информация на которых персонально актуальна только для одного пассажира.

В случае разгерметизации салона и выпадении кислородных масок предлагается использовать индивидуальные индикаторы резервного времени сохранения сознания, встраиваемые в кислородные маски [22].

При нештатной (аварийной) ситуации маска выпадает из специального отсека на борту воздушного судна и «повисает» перед человеком. Включается непрерывная подача кислорода, и в маске создается избыточное давление. При наличии избыточного давления в маске обтюратор, действуя по принципу лепестка, прижимается к лицу и обеспечивает необходимую герметичность прилегания маски.

Цифровой индикатор встраивают в каркас так, чтобы его показания были видны пользователю маски, а датчик барометрического давления в окружающей газовой среде встраивают так, чтобы обеспечить объективную регистрацию измеряемых величин барометрического давления (чтобы минимизировать риски «перекрытия» датчика шлангом подачи кислорода и т.п.), причем выход датчика барометрического давления подключают к размещенному внутри каркаса накопителю информации, соединенному с вычислителем, выход которого соединен с цифровым табло. Информация о величине резервного времени сохранения сознания может отображаться на цифровом табло или многорежимном светодиоде, доводится с помощью встроенного динамика или комбинированным способом [12; 22].

Предлагаемые варианты размещения технических средств индивидуального информирования потребуют существенной доработки кислородных масок, применяемых на воздушном судне, вместе с тем персональная индикация величины резервного времени наиболее удобна для пассажиров. Размещение индикатора (табло и/или многорежимного светодиода) в непосредственной близости от пассажиров и члена экипажа гарантирует доведение информации о величине резервного времени сохранения сознания до каждого.

Возможным вариантом расположения индикатора сохранения сознания может служить спинка кресла впереди сидящего пассажира [23].

В спинку авиационного пассажирского кресла заподлицо ее внешней поверхности встроено табло, в подголовник заподлицо его поверхности встроены датчик барометрического давления, соединенный с закрепленным внутри кресла микропроцессором, выход которого соединен с табло.

Пассажир, находясь в кресле, наблюдает информацию на табло, входящем в состав кресла, установленного впереди него – тем самым обеспечивается информирование о потенциальной опасности ситуации, обусловленной риском воздействия гипоксии.

На борту некоторых современных авиалайнеров (Boeing 737, Airbus A320) в спинки кресел встроены так называемые системы бортовых развлечений (IFE – In-Flight Entertainment System). Для таких самолетов

индикация резервного времени может выводиться на экраны системы IFE, что уменьшает процесс доработки конструкции самолета. Остается необходимым предусмотреть монтаж датчика барометрического давления и подключение его к монитору.

В качестве перспектив развития системы индикации резервного времени предлагается дополнительно использовать: лазерный дальномер, встроенный в стенку корпуса салона над креслом пассажира, в сиденье кресла пассажира тензорезисторный датчик и пирозлектрические инфракрасные датчики, дискретно встроенные в спинку кресла пассажира параллельно плоскости сиденья на высоте, равной 0,75 высоты спинки кресла.

Предлагаемая система индикации обеспечивает индивидуальное оповещение пассажира воздушного судна о резервном времени сохранения сознания в условиях гипоксической гипоксии с учетом его индивидуальных антропометрических характеристик.

В блоке вычисления происходит динамический расчет времени сохранения сознания с учетом роста, массы тела и ширины спины.

Питание схемы осуществляется от литий-ионных аккумуляторов, постоянно подключенных к бортовой сети. Время работы от аккумуляторов должно составлять не менее восьми часов. В качестве беспроводного канала возможно использовать Bluetooth.

Установка комплекса технических средств индивидуального информирования пассажиров воздушного судна в чрезвычайных ситуациях высотных полетов на основе на основе авиационных кресел более сложен в практической реализации по сравнению с вышеуказанными.

Вместе с тем реализация учета индивидуальных антропометрических характеристик пассажира приведет к увеличению точности расчетного времени сохранения сознания для каждого пассажира.

Наличие в составе кибер-физических систем (в двух описанных вариантах их реализации) блока беспроводного интерфейса обеспечивает возможность передачи оценок резервного времени сохранения сознания экипажу и наземным службам в интересах выработки и реализации рациональной стратегии действий в части планирования траектории полета воздушного судна, определения необходимости и уровня (первая, квалифицированная, специализированная) требуемой медицинской помощи и т.п.

### **Заключение**

Результаты исследования впервые позволяют реализовать инновационный персонифицированный подход к персонифицированной рискометрии и персонифицированному информированию о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета в реальном времени на основе концепции кибер-физических систем.

При разгерметизации салона у экипажа есть определенные инструкции и временной регламент. Однако невозможность (в большинстве случаев) получения информации о площади отверстия в корпусе воздушного судна в реальном времени не позволяет оценить динамику разгерметизации салона. Наличие информации о величине резервного времени сохранения сознания пассажирами позволяет экипажу (наземным службам) обеспечить рациональное планирование траектории снижения воздушного судна, обеспечивающее как безопасность полета (минимизация рисков столкновения с другими воздушными судами и выбор аэродрома аварийной посадки), так и безопасность пассажиров воздушного судна (минимизация рисков здоровью).

Разработанный подход и реализующие его кибер-физические системы найдут применение на воздушных судах, при эксплуатации которых имеется риск разгерметизации салона и/или кабины; при проведении испытаний в барокамерах с участием добровольцев, при пребывании в условиях высокогорья и при решении других практических задачах, связанных с обеспечением безопасности деятельности человека в условиях, сопряженных с воздействием гипоксии.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-2553.2020.8).*

### **Литература**

1. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора. М.: Когито-центр. 2013. 288 с.

2. Шишов А.А., Богомолов А.В. Физиологическое обоснование адекватного выхода из аварийной ситуации в высотном полете // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 2. С. 65-71.
3. Гузий А.Г., Капустин А.Г., Лушкин А.М., Фокин А.В. Методология количественного оценивания риска для безопасности полетов в самолетном сегменте коммерческой авиации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22. № 4. С. 33-42.
4. Cyber-Physical Systems: Advances in Design & Modelling / Eds by Kravets A.G., Bolshakov A.A., Shcherbakov M.V. Springer, 2019. 340 p.
5. Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges (2019) / Eds by Kravets A.G., Bolshakov A.A., Shcherbakov M.V. Springer, 2019. 334 p.
6. Шумилов Б.М., Эшаров Э.А. Проблемы математического моделирования кибер-физических систем на транспорте // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 5. С. 45-48.
7. Brown D.E., Abbasi A., Lau R.Y.-K. Predictive Analytics: Predictive Modeling at the Micro Level. IEEE Intelligent Systems. 2015. vol. 30. iss. 3. Pp. 6-8.
8. Апрельский Е.Н., Кастерский С.М., Замятин В.Г., Куренков А.С. Математическая модель пневмомеханического регулятора давления бортовых систем кислородного питания воздушных судов // Проблемы безопасности полетов. 2015. № 1. С. 21-30.
9. Ушаков И.Б., Черняков И.Н., Шишов А.А. Физиология высотного полета. М., 2007. 147 с.
10. Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомолов А.В., Шишов А.А., Сухолитко В.А., Симоненко А.П., Степанов В.К. Особенности поддержки принятия решений по устранению особых событий и опасных состояний летчика в высотном полете // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 6. С. 74-79.
11. Замятин В.Г., Кастерский С.М., Кукушкин Ю.А., Чернуха В.Н. Синтез управления давлением газа в бортовых кислородных системах // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15. № 10. С. 9-14.
12. Марков Н.А., Богомолов А.В., Шишов А.А., Дворников М.В. Технология персонализированного информирования о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации в высотном полёте // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 7. С. 76-79.
13. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Дворников М.В., Кисляков Ю.Ю., Рыженков С.П. Расчет риска потери работоспособности человеком в условиях низкого барометрического давления // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2012. № 11. С. 37-45.
14. Кастерский С.М., Харьков В.П. Минимизация потерь газа в задаче регулирования давления по заданному закону // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2018. Т. 16. № 1. С. 52-57.
15. Замятин В.Г., Кастерский С.М., Харьков В.П., Чернуха В.Н. Синтез элементной базы цифровой бортовой кислородной системы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 7. С. 18-27.
16. Плотников Н.И. Гипоксия (кислородное голодание): аналитический обзор // Проблемы безопасности полетов. 2009. № 11. С. 12-17.
17. Агаджанян Н.А., Полуниин И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. Астрахань-Москва.: Изд. АГМА, 2001. 340 с.
18. Гридин Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии // Медицина. 2016. Т. 4. № 3 (15). С. 45-68.
19. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Дворников М.В. Математическое моделирование динамики гипоксических состояний человека // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 40.
20. Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомолов А.В., Матюшев Т.В., Поляков А.В. Математическое обеспечение рискометрии состояний человека в экстремальных и аварийных ситуациях, сопряженных с гипоксическим воздействием // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 10 (142). С. 25-33.
21. Марков Н.А., Филатов В.Н. Комплекс технических средств автоматизированного оповещения об опасностях чрезвычайных ситуаций высотных полетов // Проблемы безопасности полетов. 2020. № 7. С. 42-48.
22. Марков Н.А. Кислородная маска для пассажиров воздушного судна. Патент на изобретение RU № 2722489. Заявл. 11.11.2019. Оpubл. 01.06.2020 Бюл. № 16.
23. Марков Н.А. Авиационное пассажирское кресло с информатором о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полёта. Патент на изобретение RU № 2729319. Заявл. 02.03.2020. Оpubл. 06.08.2020 Бюл. № 22.
24. Марков Н.А. Система персонализированного оповещения об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полёте. Патент на изобретение RU № 2717738. Заявл. 25.11.2019. Оpubл. 25.03.2020