

УДК 351.814.28

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0025

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ИНФОРМИРОВАНИЯ ПассажиРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ВЫСОТНОГО ПОЛЕТА

© 2020

Марков Николай Александрович, научный сотрудник

АО «Научно-производственное объединение «Топаз»,

(129626, Москва, 3-я Мытищинская улица, дом 16, e-mail: nikolya.markov.1987@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения безопасности в чрезвычайных ситуациях высотного полета путем информирования пассажиров о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени. Информирование осуществляется путем предъявления пассажирам оценки резервного времени сохранения сознания, рассчитываемой по величине барометрического давления. Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете разработана в двух вариантах: на основе авиационной кислородной маски и на основе авиационного пассажирского кресла. Ориентируясь на значения резервного времени сохранения сознания, на световое и звуковое информирование, пассажир воздушного судна в чрезвычайной ситуации высотного полета может адекватно оценивать реальную опасность пребывания без кислородной маски, например, при осуществлении действий по оказанию помощи другим пассажирам. Информированность пассажиров о реальной опасности потери сознания в экстремальных условиях высотного полета, кроме всего, способствует сохранению спокойствия, что имеет существенное значение для обеспечения безопасности в чрезвычайной ситуации. Область применения разработанных технологий персонализированного информирования пассажиров воздушных судов о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета может быть распространена на весь спектр практических задач, связанных с обеспечением безопасности жизнедеятельности деятельности человека в условиях, сопряженных с воздействием гипоксической гипоксии.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация на воздушном транспорте, разгерметизация салона воздушного судна, высотный фактор полета, резервное время сохранения сознания, персонализированное информирование о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации.

TECHNOLOGIES FOR PERSONAL INFORMATION OF AIRCRAFT PASSENGERS ABOUT POTENTIAL HAZARD OF EMERGENCY SITUATION IN HIGH-LEVEL FLIGHT

© 2020

Markov Nikolay Alexandrovich, researcher,

JSC "Scientific and Production Association" Topaz ",

(129626, Russia, Moscow, 12 Mytishchinskaya street, house 16, e-mail: nikolya.markov.1987@mail.ru)

Annotation. The article discusses the problem of increasing safety in emergency situations of high-altitude flight by informing passengers about the potential danger of an emergency in real time. Informing is carried out by presenting passengers with an estimate of the reserve time for preserving consciousness, calculated by the value of barometric pressure. The system of personalized information about the danger of an emergency in high-altitude flight was developed in two versions: on the basis of an aviation oxygen mask and on the basis of an aviation passenger seat. Focusing on the values of the reserve time of consciousness, on light and sound information, the passenger of an aircraft in an emergency situation of high-altitude flight can adequately assess the real danger of being without an oxygen mask, for example, when taking actions to assist other passengers. Awareness of passengers about the real danger of losing consciousness in extreme conditions of high-altitude flight, in addition, contributes to maintaining calm, which is essential for ensuring safety in an emergency. The area of application of the developed technologies for personalized informing of aircraft passengers about the potential danger of an emergency in high-altitude flight can be extended to the entire range of practical tasks related to ensuring the safety of human activity in conditions associated with exposure to hypoxic hypoxia.

Keywords: an emergency in air transport, depressurization of the aircraft cabin, the altitude factor of the flight, reserve time for preserving consciousness, personalized information about the potential danger of an emergency.

Введение. Эксплуатация воздушного транспорта сопряжена с высокими рисками возникновения чрезвычайных ситуаций, часть которых сопряжена с воздействием на пассажиров высотных факторов полета вследствие разгерметизации салона воздушного судна (ВС) в полете. Общеизвестно, что на высоте полета ВС примерно 10 километров могут развиваться такие опасные состояния, как высотная гипоксия и высотные декомпрессионные расстройства, так как снижа-

ется парциально давление кислорода и общее барометрическое давление [1-3].

Разработка средств жизнеобеспечения человека на больших высотах сопряжена с возможностью многих неблагоприятных факторов, таких как температурный стресс, гиперкапния, гипобария, разгерметизация, проблемы при приземлении, а также – плавная и взрывная декомпрессия, гипо- и гипероксия, гипер- и гипотермия и т.д. [1].

Герметическая кабина (герметичный салон ВС) используется во время всего высотного полета и является главным средством жизнеобеспечения, в котором задаются обязательные для обеспечения жизненных процессов человека условия. Например, влажность, температура, газовый состав, давление, скорость движения и расход воздуха [4].

В пассажирских самолетах для полетов продолжительностью 4 часа и более нормой давления воздуха в герметичной кабине считается 650-550 мм рт. ст. На законодательном уровне правила для установки и поддержания условий микроклимата в герметичных кабинах летательных аппаратов определяются действующими государственными стандартами [1].

Анализ статистики авиационных происшествий, инцидентов и предпосылок к ним показывает, что порядка 5% из них сопряжено с фактами или рисками разгерметизации салона ВС, что обуславливает риски чрезвычайных ситуаций [5]. На высотах полетов ВС гражданской авиации показатели барометрического давления и парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе в 4-5 раз меньше соответствующих «наземных» величин [1]. Это обуславливает потерю сознания практически здоровыми пассажирами в таких условиях в течение 15-20 с., а смерть от воздействия высотной гипоксии может наступить всего через 5-6 минут [6-8]. Но человек сможет находиться на той же высоте еще несколько часов если с помощью дыхания 100% кислородом частично привести в норму парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе в легких, сохраняя удовлетворительный уровень жизнедеятельности и работоспособности [9, 10].

Период от начала действия гипоксии до потери сознания называют резервным временем сохранения сознания (временем активного (полезного) сознания). По мнению многих авторов именно величина резервного времени сохранения сознания является информативным интегральным показателем, характеризующим опасность чрезвычайной ситуации высотного полета для пассажиров ВС [6, 7, 11-14].

Материалы и результаты исследования. Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения безопасности высотных полетов свидетельствует об отсутствии единых подходов к рискометрии потери сознания членами экипажа и пассажирами ВС при разгерметизации салонов и кабин ВС.

Однако в качестве интегральных показателей безопасности жизнедеятельности человека в условиях гипоксии, количественно характеризующих риски жизни и здоровью человека в экстремальных условиях, сопряженных с пониженным содержанием кислорода в воздушной среде используют величины резервного времени сохранения работоспособности, резервного времени сохранения сознания, вероятности соответствующих событий (сохранения работоспособности и сохранения сознания), а также вероятности противоположных событий (потери работоспособности и потери сознания). С математической точки зрения эти величины являются взаимосвязанными, а методы их

расчета (методы рискометрии безопасности высотных полетов) можно разделить на следующие классы (типы) [1]:

1) по величине содержания кислорода в трахеальном воздухе. Этот подход позволяет получить адекватные оценки интегральных показателей безопасности в высотном полете, однако прямая регистрация содержания кислорода в трахеальном воздухе технически сложна, а многочисленные зависимости величины этого показателя от высоты полета не позволяют адекватно оценить реальную обстановку в салоне ВС в режиме развития ЧС, когда воздушная смесь в салоне заменяется гипоксической газовой смесью постепенно (с учетом площади и места расположения отверстия в корпусе ВС, характеристик полета ВС и т.п.);

2) на основании математических моделей газообмена, предложенных в работах [2, 15, 16]. Недостатком этого подхода являются большая вычислительная сложность (число ее элементов составляет несколько сотен тысяч) и большое число допущений и идеализаций;

3) по величине барометрического давления в салоне с последующим пересчетом в величину содержания кислорода в воздушной среде на основе принципа эквивалентных высот. Этот подход технически просто реализуем (датчики барометрического давления в окружающем воздухе компактны и недороги) и при частом опросе датчиков (съем показаний с датчиков) позволяет реализовать мониторинг потенциальной опасности ЧС в высотном полете в режиме реального времени.

В интересах обеспечения информирования пассажиров ВС о потенциальной опасности окружающей ситуации целесообразно использовать величины резервного времени сохранения работоспособности, поскольку величины барометрического давления, содержания кислорода в окружающем воздухе являются малоинформативными для большинства пассажиров.

Поэтому, как отмечено выше, для информирования пассажиров ВС в чрезвычайной ситуации высотного полета следует ориентироваться на оценки резервного времени сохранения сознания в высотном полете, рассчитываемые по величине барометрического давления в салоне ВС.

Датчики барометрического (атмосферного) давления имеют открытый вход, через который идет съем показаний атмосферного давления. Датчики могут быть различных конструкций:

- датчики давления дискретного действия представляют собой устройство, где замыкание и размыкание контактов происходят под действием упругой мембраны, испытывающей измеряемое давление;
- датчики давления непрерывного действия представляют собой либо потенциометр, ползунок которого связан с мембраной, либо катушку индуктивности, в которую мембрана под действием давления вдвигает магнитный сердечник.

Современные датчики барометрического давления подключаются к микропроцессору, обрабатывающе-

му сигналы с их выхода, через коммутатор и аналого-цифровой преобразователь: для восьми разрядного контроллера шаг дискретизации может составлять до 4 мс, для шестнадцати разрядного до 2 мс.

На данный момент широко распространены полупроводниковые датчики с преобразователем давления на кремниевом кристалле, которые работают на основе пьезорезистивного эффекта. На поверхности кристалла сформирован мостик сопротивлений, ток через которые изменяется под действием деформации (затем ток усиливается и вводится температурная компенсация). К особенностям таких датчиков относятся высокая надежность и компактные размеры. Интегральные датчики давления очень технологичны, их выходной сигнал унифицирован для подключения к аналоговым или импульсным входам микроконтроллера. Информацию о давлении в зависимости от конструкции датчика несет величина выходного напряжения или его частота.

То есть уровень научно-технического прогресса позволяет реализовать рискометрию безопасности высотных полетов с расчетом оценки резервного времени сохранения работоспособности пассажирами ВС в реальном времени развития ЧС высотного полета на основании непрерывно (с заданной частотой дискретизации) определяемой величины барометрического давления в салоне ВС.

Таким образом, решение задачи обеспечения безопасности пассажиров ВС в чрезвычайной ситуации высотного полета потребовало разработки и реализации систем сигнализации и информирования об опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени [17].

Анализ возможных подходов к синтезу таких систем показал, что их целесообразно реализовать с помощью сопряжения (встраивания) в средства индивидуального обеспечения жизнедеятельности пассажиров ВС в чрезвычайных ситуациях высотного полета (кислородные маски) либо в оборудование салона ВС.

Проведенные исследования позволили обосновать облик автоматизированных информационных систем персонализированного оповещения пассажиров ВС в чрезвычайных ситуациях высотного полета на основе величины резервного времени сохранения сознания человеком в условиях гипоксической гипоксии, рассчитываемой в реальном времени.

Разработанная методика экспресс-расчета оценки резервного времени сохранения сознания в чрезвычайной ситуации высотного полета в реальном времени имеет следующий вид.

Измеряют барометрическое давление в салоне ВС каждые три секунды. Если полученная величина больше, чем барометрическое давление на высоте 6500 м. (44,06 кПа), то резервное время сохранения сознания считается неограниченным.

Как только текущее значение барометрического давления будет меньше, чем барометрическое давление на высоте 6500 м:

- включается таймер и определяется время нахождения пассажиров в таких условиях;

- вычисляется оценка резервного времени сохранения сознания (Т) по формуле:

$$T = (710,37 - 0,2093(44060 - P)\Delta t) / (0,2093(44060 - P)).$$

Как только измеренное барометрическое давление будет больше, чем барометрическое давление на высоте 6500 м. резервное время сохранения сознания считается неограниченным.

Разработанная методика обеспечивает возможность связи между вычислительными и физическими элементами комплексной системы обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях в высотных полетах, обеспечивая возможность реализации информирования об опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени [7, 12-14, 17].

Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете на основе кислородной маски.

Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете разработана в двух вариантах: на основе авиационной кислородной маски и на основе авиационного пассажирского кресла [18-20].

Известны многочисленные варианты конструкций авиационных кислородных масок, применяемых для различных ВС, но ни одна из них не обеспечивает информирование пользователя об опасности (безопасности) окружающей среды.

Функционирование разработанной системы, объединяющей датчики барометрического давления, микропроцессор, информационное табло, компаратор, блок беспроводного интерфейса, многорежимный светодиод и кислородную маску, соединенную с кислородным оборудованием, заключается в следующем [21]. При нештатной (аварийной) ситуации высотного полета кислородная маска выпадает из специального отсека на борту ВС и «повисает» перед пассажиром. Одновременно включается непрерывная подача кислорода в маску и в ней создается избыточное давление. Пассажир «подтягивает» маску и прижимает ее к лицу.

За счет наличия избыточного давления в маске ее обтюратор, действуя по принципу лепестка, прижимается к лицу и обеспечивает необходимую герметичность прилегания маски. Во время выдоха избыточное давление в маске возрастает на величину, превышающую силу давления мембраны на седло маски, поэтому лепестковый клапан выдоха и мембрана клапана выдоха отходят от седла, и выдыхаемая смесь выходит в окружающую среду. Поскольку горизонтальные полосы формователя контура человеческого носа в маске поджаты по форме носа пользователя, и за счет формы нижней части каркаса, глубоко охватывающей подбородок, толщины полотна каркаса обеспечивается эргономически комфортное применение маски.

В маску встроен индикатор резервного времени сохранения сознания, включающий корпус, в стенки которого заподлицо внешней поверхности встроены

датчик барометрического давления, и табло для отображения резервного времени сохранения сознания человеком, а внешняя стенка корпуса, противоположная внешней стенке со встроенным табло, оборудована креплением, причем выход датчика барометрического давления подключен к накопителю информации, соединенному с вычислителем, выход которого подключен к компаратору, соединенному с табло и с блоком беспроводного интерфейса. Расчет оценки резервного времени сохранения сознания осуществляется с помощью методики, изложенной выше.

При этом с помощью индикатора пользователь маски информируется о величине резервного времени сохранения сознания без использования маски, которая показывается на табло, входящем в состав индикатора и встроенном в маску заподлицо ее внешней поверхности так, чтобы показания индикатора были видны пользователю маски, а датчик барометрического давления в окружающей газовой среде обеспечивал объективную регистрацию измеряемых величин барометрического давления (внешняя поверхность датчика не должна перекрываться компонентами маски и т.п.) [18, 21].

Кроме того, для дополнительного информирования пользователя маски об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете, в маску встраивают светодиод, имеющий, как минимум три режима свечения (зеленый, желтый, красный). Светодиод встраивают в маску заподлицо ее внешней поверхности так, чтобы он был виден пользователю маски, и соединяют с вычислителем, управляющим режимами свечения светодиода в зависимости от рассчитанной величины резервного времени сохранения сознания.

После выпадения маски осуществляют расчет величины резервного времени сохранения сознания с частотой, как правило, 1 Гц (1 раз в секунду).

Ориентируясь на значения резервного времени сохранения сознания и на свечение светодиода, пассажир ВС в чрезвычайной ситуации высотного полета может оценивать реальную опасность пребывания без кислородной маски, например, при осуществлении действия по оказанию помощи другим пассажирам, перемещению по салону ВС и т.п.

Информированность пассажиров о реальной опасности чрезвычайной ситуации в экстремальных условиях высотного полета, кроме всего, способствует сохранению спокойствия, что имеет существенное значение для обеспечения безопасности в чрезвычайной ситуации.

Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете на основе авиационного пассажирского кресла.

Функционирование разработанной системы, объединяющей датчики барометрического давления, микропроцессор, информационное табло, компаратор, громкоговоритель, блок беспроводного интерфейса, многорежимный светодиод и авиационное пассажирское кресло, заключается в следующем [22].

Авиационное пассажирское кресло содержит си-

дение, спинку с подголовником и подлокотники. Для построения системы в спинку кресла заподлицо ее внешней поверхности встроено табло, в подголовник заподлицо его поверхности встроены датчик барометрического давления и громкоговоритель, соединенные с закрепленным внутри кресла микропроцессором, выход которого соединен с табло.

В процессе полета, как и в предыдущем случае, осуществляют съем показаний с датчика барометрического давления в окружающей газовой среде и рассчитывают оценку резервного времени сохранения сознания человеком.

При значении рассчитанной оценки резервного времени сохранения сознания меньше 300 с. подается сигнал на включение табло и громкоговорителя. При этом в цифровых разрядах табло индикатора отображают рассчитанную оценку резервного времени сохранения сознания человеком, которая изменяется в реальном времени с дискретностью, равной частоте измерения барометрического давления в окружающей газовой среде. Надписи на русском и английском языках подсвечивают одновременно с включением табло и с появлением рассчитанной оценки резервного времени сохранения сознания. Через громкоговоритель попеременно на русском и английском языке выдают аудиоинформацию о величине резервного времени сохранения сознания. Если при включенных табло и громкоговорителе рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания становится большей или равной 300 с, то выдают сигнал на выключение табло и громкоговорителя.

Пассажир, находящийся в кресле, видит информацию на табло, входящем в состав кресла, установленного впереди него, и слышит информацию через громкоговоритель – тем самым обеспечивается информирование пассажиров о потенциальной опасности ситуации, обусловленной риском воздействия гипоксии.

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

Разработанный подход и реализующие его технические решения найдут применение на ВС, при эксплуатации которых имеется риск разгерметизации салона и/или кабины и при решении других практических задач, связанных с обеспечением безопасности деятельности человека в условиях, сопряженных с воздействием гипоксии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ушаков И.Б., Черняков И.Н., Шишов А.А. Физиология высотного полета. М., 2007. 147 с.

2. 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.
3. Приложение 6 к Конвенции о Международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть 1. Международный коммерческий транспорт. Самолеты. Изд.10. Монреаль: ИКАО, 2016. 304 с.
4. 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.
5. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора. М.: Когито-центр. 2013. 288 с.
6. 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.
7. 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.
8. Агаджанян Н.А., Полунин И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. Астрахань-Москва: Изд. АГМА, 2001. 340 с.
9. 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.
10. Гридин Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии // Медицина. 2016. Т. 4. № 3 (15). С. 45-68.
11. 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.
12. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Дворников М.В. Математическое моделирование динамики гипоксических состояний человека // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 40.
13. 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.
14. Алёхин М.Д., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Методики анализа паттернов дыхания при бесконтактном мониторинге психофизиологических состояний операторов эргатических систем // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 2. С. 99-101.
15. Матюшев Т.В., Дворников М.В. Анализ респираторных реакций человека в условиях измененной газовой среды на математической модели // Компьютерные исследования и моделирование. 2017. Т. 9. № 2. С. 281-296.
16. Матюшев Т.В., Дворников М.В., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Поляков А.В. Математическое моделирование динамики показателей газообмена человека в условиях гипоксии // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. № 4. С. 51-64.
17. 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.
18. Марков Н.А., Богомолов А.В., Шишов А.А., Дворников М.В. Технология персонализированного информирования о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 7. С. 76-79.
19. Марков Н.А. Система персонализированного оповещения об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете. Патент на изобретение RU № 2717738. Заявл. 25.11.2019. Оpubл. 25.03.2020 Бюл. № 9.
20. 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.
21. Марков Н.А. Кислородная маска для пассажиров воздушного судна. Патент на изобретение RU № 2722489. Заявл. 11.11.2019. Оpubл. 01.06.2020 Бюл. № 16.
22. Марков Н.А. Авиационное пассажирское кресло с информатором о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета. Патент на изобретение RU № 2729319. Заявл. 02.03.2020. Оpubл. 06.08.2020 Бюл. № 22.

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

Статья поступила в редакцию 20.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020