

Научная статья

**РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА
ПИЛОТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ****Е.В. Зибарев¹, И.В. Бухтияров¹, О.К. Кравченко¹, П.А. Астанин²**¹Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, 105275, Россия, г. Москва, пр. Буденного, 31²Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, 117321, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, 1

Разработана концепция оценки напряженности труда, основанная на комплексной оценке современного состояния условий труда, анализе психофизиологического состояния пилотов гражданской авиации в полете, а также оценке значимости уровня лётных нагрузок и признаков утомления в увеличении риска возникновения авиационных происшествий.

Установлено, что по данным санитарно-гигиенических характеристик уровни напряженности труда на всех рабочих местах пилотов гражданской авиации соответствуют вредным условиям труда, которые усугубляются в 48 % случаев воздействием четырех других вредных факторов (шум, микроклимат, вибрация, рабочая поза).

Результаты исследований показали, что после 5 ч полета значительно повышаются риски наступления утомления, проявляющегося в увеличении количества фиксации взгляда на 11 %, среднего времени латентного периода сложной зрительно-моторной реакции – на 12 %, количества значимых ошибок для безопасности полетов – на 50 %, при отсутствии физиологического восстановления сердечно-сосудистой системы, $p < 0,05$. Риск возникновения авиационных происшествий увеличивается у тех пилотов, которые находятся в состоянии утомления и стресса вследствие нарушений режимов труда и отдыха, что составляет не менее 8,4 % случаев от всех других причин.

Предложено ввести 3-ю степень вредности для напряженных работ, а также новые показатели напряженности труда по сенсорным, информационным и интеллектуальным нагрузкам, такие как увеличение времени фиксации взгляда на приборе (%), частота сменяемости изображения / значения на экране (раз/мин), объем информационных потоков в единицу времени (бит/с), количество многофункциональных приборов (более 10 бит/с). Установлено, что оценка напряженности труда должна быть дополнена специфическими характеристиками лётной нагрузки и режимов труда – количество взлетов и посадок, число пересеченных часовых поясов, количество стресс-факторов в течение полета, число ночных полетных смен за неделю – показателями, напрямую связанными с развитием утомления пилотов и повышением риска возникновения авиационных происшествий.

Ключевые слова: напряженность труда, информационные нагрузки, авиационные тренажеры, айтрекинг, утомление, безопасность полетов, риски авиационных происшествий, психофизиологические исследования, анкетирование.

Напряженность труда (НТ) является одним из самых сложных показателей условий труда, который с трудом поддается формализации и количественной регламентации. Первые критерии оценки степени НТ появились около 30 лет назад в руководстве Р 2.2.013-94

«Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»¹ и явились научным прорывом в медицине труда. Однако с тех пор эти критерии не претер-

© Зибарев Е.В., Бухтияров И.В., Кравченко О.К., Астанин П.А., 2022

Зибарев Евгений Владимирович – кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе (e-mail: zibarevevgeny@gmail.com; тел.: 8 (921) 953-02-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5983-3547>).

Бухтияров Игорь Валентинович – заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: info@iriioh.ru; тел.: 8 (495) 365-02-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>).

Кравченко Ольга Кирилловна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: kravchenko_ok@inbox.ru; тел.: 8 (915) 214-91-25; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6509-2485>).

Астанин Павел Андреевич – ассистент кафедры медицинской кибернетики и информатики (e-mail: med_cyber@mail.ru; тел.: 8 (983) 158-08-14; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1854-8686>).

¹Р 2.2.013-94. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса / утв. и введ. в действие Первым заместителем Председателя Госкомсанэпиднадзора России – Заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 12 июля 1994 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003682> (дата обращения: 11.03.2022).

пели изменений, в то время как трудовой процесс с внедрением информационных технологий стал более производительным, интеллектуальным и интенсивным. Эти процессы усложнили задачи контроля НТ при выполнении высококвалифицированных видов работ не только с точки зрения их методического обеспечения, но и в связи с недостаточностью имеющихся критериев оценки, узостью их границ.

К числу наиболее напряженных видов работ относится труд пилотов современных воздушных судов (ВС). Внедрение новейших достижений авионики, с одной стороны, упрощает и облегчает задачи по управлению ВС, но с другой – требует от пилота высокого уровня мобилизации всех функций анализаторов для обеспечения максимальной сосредоточенности, концентрации внимания, мгновенного принятия решений, быстроты реакций при постоянно меняющейся информации.

Сложность оценки НТ пилотов осложняется наличием специфических факторов на их рабочем месте, формирующих целый комплекс особенностей лётного труда, таких как: высокая ответственность; большое количество входящих сигналов; частая необходимость принятия решений в условиях острого дефицита времени; сменный график работ с различной продолжительностью рабочей смены, сопровождающейся высокими физиологическими затратами; чередование дневных и ночных смен; пересечение нескольких часовых поясов; развитие десинхроноза; возможность возникновения в полете пространственной дезориентации и обмана чувств².

Анализ законодательных документов показал наличие пробелов в системе регламентации условий труда членов лётных экипажей ВС гражданской авиации (ГА), которая ограничивается оценкой только трех факторов производственной среды (шум, микроклимат и световая среда). При этом в соответствии с гигиеническими нормативами³ в перечень психофизиологических факторов входят четыре классических показателя НТ (три по сенсорным нагрузкам и один по монотонности труда). Но

даже такого ограниченного перечня показателей НТ недостаточно для объективной оценки лётной нагрузки на пилота. Следует констатировать, что на современных типах ВС в последние годы отмечается снижение уровней шума в кабинах, при этом ведущим фактором условий труда становится НТ [1, 2]. Важность контроля НТ обусловлена высокой вероятностью развития утомления у пилотов, увеличения ошибок деятельности и, как результат, – повышение риска возникновения авиационных происшествий.

Однако подходы к проведению измерений и оценки НТ, изложенные в основных документах⁴, имеют ряд ограничений при использовании их для данной категории работников, а именно: не обеспечивают возможности оценки НТ пилотов с учетом множества алгоритмов действий на различных этапах полета; несут в себе субъективность оценки по отдельным показателям; не предполагают использование современных средств измерения; не регламентируют условия проведения измерений (реальный полет / тренажер).

Все это диктует необходимость разработки новой концепции оценки НТ. В основу концепции оценки НТ пилотов ГА должен быть заложен контроль как функциональных изменений в организме, так и показателей, которые свидетельствуют о связи факторов лётного труда с увеличением риска авиационных происшествий как наиболее неблагоприятного исхода работы.

Концепция оценки НТ позволит всесторонне учесть специфику лётного труда, связанную с сенсорными, информационными, интеллектуальными, эмоциональными нагрузками, монотонностью и режимами труда, объединенными понятием «напряженность труда», и разработать мероприятия по совершенствованию системы управления рисками, связанными с утомлением.

Цель исследования – научное обоснование концепции оценки НТ, основанной на результатах экспериментальных исследований влияния лётной

² Санитарно-гигиеническая характеристика вредности, опасности, напряженности, тяжести труда членов экипажей воздушных судов гражданской авиации России: руководящий документ / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ и Федеральной авиационной службой РФ 13, 14 октября 1997 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/71554050/> (дата обращения: 12.03.2022).

³ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 12.03.2022).

⁴ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29 июля 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 12.03.2022); Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 33н (ред. от 27.04.2020) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 12.03.2022); МИ НТП.ИНТ-17.01-2018. Методика измерений показателей напряженности трудового процесса для целей специальной оценки условий труда / утв. приказом Генерального директора АО «Клинический институт охраны и условий труда» А.В. Москвичевым от 06.12.2018 № 010-ОД. – М., 2018. – 42 с.

нагрузки на функциональные изменения в нервной, сердечно-сосудистой системах и органах чувств пилотов, увеличении ошибок деятельности при выполнении полетного задания, установлении роли утомления в повышении риска возникновения авиационных происшествий, и разработка предложений по внесению соответствующих дополнений в нормативно-законодательные документы.

Материалы и методы. В исследовании применялись аналитические, анкетно-опросные, гигиенические, хронометражные, психофизиологические, статистические и экспертные методы исследований. При выборе методов исследования учитывались положения ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009⁵.

Проведены экспериментальные исследования по оценке психофизиологического состояния 120 пилотов (возраст – 41 ± 8 лет) в условиях моделирования полета на полнофункциональных авиационных тренажерах самолетов Boeing 737-800, Airbus A-320, Sukhoi Superjet 100, составляющих 52 % парка ВС РФ. Полеты продолжительностью 340 мин смоделированы на основании реальных ситуаций, имевшихся в базе данных авиационного тренажера (координаты, высота, скорость движения, метеорологические условия, аварийные ситуации и т.д.), которые были стандартизованы по длительности и сложности. Было смоделировано восемь различных этапов полета длительностью по 15 мин: три этапа без отказа пилотажно-навигационных систем в стандартных условиях (1 – взлет и набор высоты, 2 – горизонтальный полет, 3 – снижение и посадка) и пять этапов снижения и посадки с отказом пилотажно-навигационных систем в нестандартных условиях (4 – сильный боковой ветер и туман, 5 – сильный боковой ветер, туман и отказ двигателя, 6 – сильный боковой ветер, туман, отказ двигателя и уход на второй круг, 7 – пожар двигателя и уход на второй круг, 8 – сдвиг ветра на высоте 1200 м, уход на второй круг, визуальный заход на посадку). В эксперименте оценивали ошибки деятельности пилотов на основании экспертной оценки пилота-инструктора.

Хронометражные исследования проводились в соответствии с руководством по лётной эксплуатации (РЛЭ). Все стандартные операционные процедуры по РЛЭ были разделены на семь групп в зависимости от вида сенсорных нагрузок: длительность сосредоточенного наблюдения; плотность сигналов; число производственных объектов одновременного наблюдения; наблюдение за экранами мониторов; нагрузка на слуховой анализатор; показатели монотонии; нагрузка на голосовой аппарат.

Для анализа уровня операторской работоспособности и стабильности сенсомоторных реакций

применяли простую и сложную зрительно-моторную реакцию (ПЗМР и СЗМР) на устройстве психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (ООО НПКФ «Медиком МТД», Россия). Регистрировались 12 показателей, в том числе среднее время реакции (мс), суммарное число ошибок, уровень сенсомоторных реакций.

Для оценки концентрации внимания применяли комплекс «Выбор» ОАО «Концепция», г. Москва. Оценивались показатели: сумма правильных нажатий (количество); среднее время реагирования (СВР) на сигнальные знаки (мс); СКО (среднее квадратичное отклонение); сумма «тревожных» ошибок; сумма смысловых ошибок; сумма пропусков.

Для регистрации и оценки показателей окуломоторной активности применялся мобильный айтрекер SMI ETG в форме очков. Оценивались динамические характеристики фиксации, саккад, морганий (количество, длительность, скорость, кривизна траектории).

Для исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы применяли устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 – «Психофизиолог» (ООО НПКФ «Медиком МТД», Россия) и холтеровское мониторирование. Вариабельность сердечного ритма оценивали по данным статистических, геометрических и спектральных характеристик.

Проведены анкетирование 667 пилотов, исследования хронической заболеваемости, анализ отчетов об авиационных происшествиях и роли в них утомления пилотов в результате несоблюдения режимов труда и отдыха по данным расследований 84 авиационных происшествий (АП), проведенных Межгосударственным авиационным комитетом (МАК) в 2010–2021 гг. [3].

Номинальные (качественные) данные описывались с указанием абсолютных значений (сколько раз показатель повторялся в выборке) и относительных частот или процентных долей (доля данного значения во всей выборке). Проверка гипотезы нормальности распределения значений признака проводилась с помощью критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Поскольку распределение значений во всех группах отличалось от нормального, описание их проводили при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 ; Q_3) с использованием программы Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение. *Хронометражные исследования* позволили получить представление о реальных сенсорных нагрузках пилотов в условиях полета. Было рассчитано количество

⁵ ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 3. Принципы и требования к методам измерений и оценке умственной нагрузки / утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 декабря 2009 г. № 585-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075947> (дата обращения: 17.03.2022).

сигналов⁶ и сообщений, получаемых пилотом на разных этапах полета, их плотность в минуту / час, а также длительность сосредоточенного наблюдения пилота за ходом процесса в течение полета (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, количество сигналов, получаемых пилотом, их плотность и длительность сосредоточенного наблюдения чрезвычайно высоки. Например, на этапах взлета и посадки обоими пилотами осуществляется непрерывный контроль скорости, высоты, вертикальной скорости, метеобстановки по локатору, рельефа местности по GPWS, положения других ВС по TCAS и др. В этих условиях значения указанных показателей выходят далеко за пределы, предусмотренные документами⁴ для вредных условий труда степени 3.2. Так, длительность сосредоточенного наблюдения составила 98 %, плотность сигналов за час на разных этапах полета была в пределах от 900 до 4740 (в среднем для полетной смены – 2220 в час), длительность наблюдения за экранами мониторов составила более 6 ч. Таким образом, на основании учета стандартных операционных процедур по РЛЭ оказалось, что фактические значения, например, показателя плотности сигналов, получаемых пилотами, на порядок выше указанных в действующих нормативах («более 300 сигналов»). Это обуславливает необходимость введения новой, более высокой степени вредности для напряженных работ – 3.3.

Количество поступающих пилоту сигналов, например при взлете, требует реагирования на них со скоростью около 760 мс на сигнал⁷. В экспериментальном исследовании показано, что средний

латентный период выполнения реакции выбора составляет около 330–540 мс [4]. В случае выполнения реальных задач в условиях продолжительной работы этот показатель может увеличиться в 2–4 раза, возможно развитие утомления. Например, для водителей автомобиля время реакции с момента обнаружения опасности до принятия решения по ее устранению составляет от 0,4 до 1,6 с, в среднем – 1 с, в худшем случае – 1,6–2 с [5]. Для пилотов ВС время реагирования должно составлять не более 0,5 с, так как плотность сигналов значительно выше. Таким образом, количество сигналов, поступающих пилоту, находится на пределе физиологических возможностей анализаторных систем человека. При утомлении и перегрузке пилотов при работе в таких условиях ошибки весьма вероятны и даже неизбежны.

Более 1000 входящих сигналов у пилотов за час полетной смены позволяют заключить, что их количество существенно выше аналогичных показателей для водителей автотранспорта, которые получают около 700–800 сигналов за час рабочей смены в течение 7–8 ч [5]. Кроме того, для водителей отсутствует такой вид деятельности, как наблюдение за экранами мониторов, а также постоянное прослушивание эфира и переговоры с диспетчерами через радиогарнитуры. Пилоты не могут в случае усталости остановиться и отдохнуть. Таким образом, все показатели свидетельствуют о том, что труд пилотов ВС ГА относится к числу наиболее напряженных видов работ, а оценка количества сигналов чрезвычайно актуальна для обеспечения безопасности полетов. Сложность подсчета количества сигнала

Таблица 1

Результаты хронометражных исследований выполнения пилотом стандартных операционных процедур на разных этапах полета

Этапы полета	Число сигналов	Время, мин	Плотность сигналов за минуту / час	Длительность сосредоточенного наблюдения, %
Предполетная подготовка	493	20	25 / 1500	90
Подготовка кабины ВС	1780	30	59 / 3540	100
Буксировка и запуск двигателя	603	18	34 / 2040	100
Руление	326	10	33 / 1980	100
Взлет	791	10	79 / 4740	100
Набор высоты	760	20	38 / 2280	100
Горизонтальный полет	2180	80	27 / 1620	90
Подготовка к снижению	377	10	38 / 2280	100
Снижение	808	20	40 / 2400	100
Заход на посадку и посадка	361	5	72 / 4320	100
Руление после посадки и выключение двигателя	156	5	31 / 1860	100
Послеполетные работы	231	15	15 / 900	100
Всего за полетную смену	8866	243	37 / 2220	98

⁶ Под сигналом понималось возбуждение, возникающее при определенном состоянии или смене состояний средств производства, воздействующее на органы чувств оператора – зрительные сигналы (от оптических индикаторов), акустические сигналы (от акустических индикаторов) или сигналы, воспринимаемые кожей (тактильные индикаторы). Определение дано в соответствии с МИ НТП.ИНТ-17.01-2018⁴, п. 3.1.7.

⁷ Матранова И.Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике. – Иваново: ООО «Нейрософт», 2007. – 216 с.

лов, перерабатываемых пилотом в реальных условиях полета, связана еще и с тем, что выполняемые процедуры по управлению ВС предполагают возможность нескольких вариантов решения задач, особенно в условиях возникновения непредвиденных или нештатных ситуаций (неблагоприятные метеосостояния, технические проблемы и др.).

Как показали исследования, оценка сенсорных нагрузок по результатам подсчетов поступающих сигналов чрезвычайно трудоемка и вносит значительную долю неопределенности в получаемые результаты. Одним из способов интегральной оценки объемов перерабатываемой пилотом информации может явиться учет информационные нагрузки, которые могут быть вычислены с помощью технологии окулографии (айтрекинга). Известно, что максимальный информационный поток процесса сознательного сенсорного восприятия составляет около 40 бит/с⁸. При этом выявлена существенная зависимость этого показателя от возраста – с увеличением возраста, к 60 годам, сенсорное восприятие снижается почти на 40 %.

Проблемы измерения и гигиенической оценки информации как физического фактора разрабатывались в работах, в которых получило развитие такое направление медицины труда, как «информационная гигиена» [6–8]. Однако задачи информационной нагрузки в них в основном решались расчетными априорными методами с позиций оценки объемов текстовой информации, произведенной работниками разных отраслей за год на компьютере. В более поздних работах показана необходимость сопоставления производимой и воспринимаемой человеком информации [9, 10]. Однако подобных исследований в доступных источниках не представлено.

В настоящей работе задача оценки информационных нагрузок, а также последствий их воздействия на функциональное состояние пилотов решалась с применением комплексного подхода на основании фактических данных: в экспериментальных условиях – с использованием психофизиологических методов, самооценки состояния, путем выявления взаимосвязей НТ с показателями хронической заболеваемости пилотов, а также с возникновением авиационных происшествий.

Экспериментальные психофизиологические исследования проводили в соответствии с утвержденным протоколом, предусматривающим повышение интенсивности лётной нагрузки от этапа к этапу.

Использование метода оценки движения глаз, оценки вариабельности сердечного ритма (BCP), СЗМР / ПЗМР, концентрации внимания в привязке к ошибкам деятельности в рамках эксперимента позволило связать уровни лётных нагрузок с функциональными изменениями пилотов, а также дать точные количественные уровни по объемам перерабатываемой информации с учетом частоты сменяемости изображений на экранах мониторов, информационных потоков

от других источников, количества многофункциональных приборов (табл. 2). Расчет эмоциональных нагрузок (стресс-факторов) проведен по количеству запланированных взлетов–посадок в сложных условиях с анализом числа ошибок в управлении ВС.

По результатам айтрекинга дана объективная оценка по плотности сигналов, длительности сосредоточенного наблюдения, числу объектов одновременного наблюдения и распределению внимания на них. Длительность сосредоточенного наблюдения на разных этапах эксперимента варьировалась от 90 % (горизонтальный полет) до 100 % (предполетная подготовка, взлет, набор высоты и посадка). Плотность сигналов и сообщений составляла в среднем 4500 за 1 ч, что в 15 раз превышает критерии для напряженного труда степени 3.2 по данному показателю. Число объектов одновременного наблюдения колебалось от 25 (горизонтальный полет, этап № 2) до 41 (посадка № 3–6). По данным критериям труд пилотов может быть отнесен к напряженным работам подкласса 3.3.

Наблюдение за экранами мониторов (в пересчете на полное время стандартной полетной смены) составляло от 70 % (4,1 ч при выполнении горизонтального полета) до 100 % (6,2 ч) при выполнении взлета (этап № 1) и посадки 3–6 (этап № 5–8). Следует отметить, что критерии по данному показателю, содержащиеся в документах⁴, выглядят устаревшими и не имеют под собой достаточного физиологического обоснования, так как к подклассу 3.2 отнесены работы, при которых наблюдение за экранами ВДТ составляет «более 4». В настоящее время, когда компьютерами оснащено чуть ли не каждое второе рабочее место, а ввод и чтение информации с монитора составляет более 50 % времени рабочей смены, такие границы требуется сместить на 2 ч в сторону увеличения без выделения типа отображаемой информации. При этом к классу 3.3 будет отнесена длительность наблюдения за экраном мониторов более 8 ч за смену.

Время пассивного наблюдения за ходом производственного процесса, колебавшееся от 0 % (взлет и посадка) до 7 % при выполнении горизонтального полета, свидетельствует об отсутствии монотонии.

Частота сменяемости изображений / значений на экранах пилотажного и навигационного дисплеев варьировалась на разных этапах полета от 5 до 20 (в среднем – 15) раз/мин, объем информационных потоков в единицу времени – от 5 до 40 (в среднем – 25) бит/с. Количество многофункциональных бортовых приборов (более 10 бит/с) в тренажерах, используемых пилотами на разных этапах полета, по которым судили об интеллектуальных нагрузках, составило 4 (основной пилотажный, многофункциональный дисплей, дисплей двигателя, бортовой компьютер). По данным показателям труд пилотов может быть отнесен к подклассам 3.2 и 3.1.

⁸ Fundamentals of Sensory Physiology / ed. by R.F. Schmidt. – 2nd cor. edition. – Berlin: Springer-Verlag, 1981. – 267 p.

Показатели сенсорных, информационных, интеллектуальных и эмоциональных нагрузок на пилотов в экспериментальных исследованиях при моделировании условий полета на авиационных тренажерах

№ п/п	Показатели НТ	По этапам эксперимента			Критерии оценки НТ ^{4,5} для класса 3.2	Новые критерии оценки НТ для класса 3.3	Экспертная оценка класса НТ (по сред. знач.)
		мин.	макс.	средн. знач.			
1	Сенсорные нагрузки Длительность сосредоточенного наблюдения (% полетной смены)	90	100	95	Более 75 ⁴	«Более 85»	3.3
2	Плотность сигналов (световых, звуковых, тактильных) и сообщений за 1 ч работы в течение полетной смены, количество	5100	8400	4500	Более 300 ^{4,5}	«Более 600»	3.3
3	Число производственных объектов одновременного наблюдения за полетную смену	25	41	36	Более 25 ^{4,5}	«Более 35»	3.3
4	Наблюдение за экранами мониторов, часов за полетную смену	4,1	6,2	6,1	Более 4/6 ⁴	«Более 8»	3.2
5	Монотонность Время пассивного наблюдения за ходом процесса, % полетной смены	0	7	6	Более 90 ⁴	«Более 95»	2
6	Информационные нагрузки Увеличение времени фиксации взгляда на приборе, %	5	20	15	-	«Более 35» (н.п.*)	3.2
7	Частота сменяемости изображения / значения на экране, раз/мин	5	45	30	-	«Более 30» (н.п.*)	3.2
8	Объем информационных потоков в единицу времени, бит/с	5	40	25	-	«Более 100» (н.п.*)	3.2
9	Интеллектуальные нагрузки Количество многофункциональных приборов, более 10 бит/с	4	4	4	-	«Более 8» (н.п.*)	3.1
10	Эмоциональные нагрузки Стресс-факторы трудовой деятельности: ошибка в управлении, сбой алгоритма действий, взлеты–посадки в непредсказуемых условиях (количество в смену)	0	20	17	-	«Более 20» (н.п.*)	3.2

Примечание: * – н.п. – новый показатель.

Таким образом, из 10 контролируемых показателей НТ 3 относились к классу 3.3, 5 – к классу 3.2, один – к классу 3.1, один – к допустимому классу. Это позволяет труд пилота по показателям НТ при полете на авиационных тренажерах в условиях, приближенных к реальным, отнести к классу 3.3.

Анализ динамики контролируемых психофизиологических показателей СЗМР, концентрации внимания и ВСР показал достоверные изменения как между этапами, так и к концу выполнения эксперимента среди командиров воздушных судов (КВС) и вторых пилотов (ВП) (табл. 3).

Наиболее четкая динамика отмечена при выполнении СЗМР, по сравнению с результатами ПЗМР. В СЗМР показано снижение уровня безошибочности действий к концу эксперимента (на 16,5 %), увеличение суммарного количества ошибок (на 48 %), числа неправильных реакций (на 58 %), среднего времени реакции (на 12,7 %) и снижение интегрального показателя надежности (на 17 %).

Из табл. 3 и рис. 1 следует, что на протяжении всех этапов тестирования статистически значимая динамика прослеживалась по таким пара-

метрам СЗМР, как ARcT (среднее время реакции) и LoSR (уровень сенсомоторных реакций). Примечательно, что медианные значения по показателям ARcT планомерно увеличивались от начала тестирования до его окончания. Медиана имела сильную прямую статистически значимую связь ($r = 0,911$, $p < 0,001$), темпы прироста медиан – 19,5 %. Медианные значения по показателю LoSR планомерно снижались от начала тестирования до его окончания и характеризовались наличием сильной прямой статистически значимой корреляционной связи ($r = 0,846$; $p = 0,002$), темпы убыли медианы составили 50,0 %.

Результаты анализа различных показателей СЗМР в динамике эксперимента показали однонаправленные тенденции, свидетельствующие о развитии изменений в состоянии ЦНС пилотов – снижении процессов восприятия и переработки афферентной информации, развитии тормозных процессов, что обуславливает понижение эффективности деятельности нервной системы, в том числе в когнитивной области, уменьшение работоспособности, надежности и безопасности.

Результаты психофизиологических исследований на авиатренажерах

Наименование показателя	Этап тестирования		P_{total} / P_{1-8}	
	Взлет (этап 1)	Посадка 6 (этап 8)		
<i>Динамика показателей по данным айтрекинга</i>				
Число сигналов в минуту	25,9 [22,1; 31,4]	27,1 [20,8; 35,1]	0,107 / 0,552	
Кривизна траектории взгляда	2,13 [1,87; 3,14]	2,18 [2,03; 2,35]	0,002 / 0,477	
Число фиксаций взгляда	1,49 [1,11; 1,62]	1,66 [1,51; 1,85]	0,002 / 0,091	
<i>Динамика показателей СЗМР</i>				
Среднее время реакции (ARcT)	409 [390; 440]	461 [392; 558]	0,036 / 0,031	
Уровень сенсомоторных реакций (LoSR)	4,00 [2,25; 5,00]	2,00 [1,25; 3,00]	0,014 / 0,017	
Максимальное время реакции (MaxRT)	631 [556; 723]	754 [590; 1132]	0,021 / 0,026	
<i>Динамика показателей концентрации внимания</i>				
Минимальное время реакции (MinRT)	869 [816; 922]	892 [600; 1235]	0,041 / 0,859	
Доля верных ответов (SoCA)	100 [90,0; 100]	90,0 [90,0; 100]	0,369 / 0,026	
<i>Динамика показателей ВСП</i>				
RMSSD	КВС	24,4 [22,1; 26,4]	22,9 [16,5; 31,0]	0,178 / 0,032
	ВП	35,2 [26,6; 42,8]	32,8 [25,6; 38,1]	0,300 / 0,678
	КВС и ВП	26,4 [22,6; 39,0]	25,6 [20,9; 37,5]	0,131 / 0,085

Примечание: P_{total} – уровень значимости при сравнении значений динамических рядов по всем этапам тестирования в целом (от взлета до посадки 6); P_{1-8} – уровень значимости при сравнении показателей на маргинальных этапах тестирования (при взлете и при посадке 6).

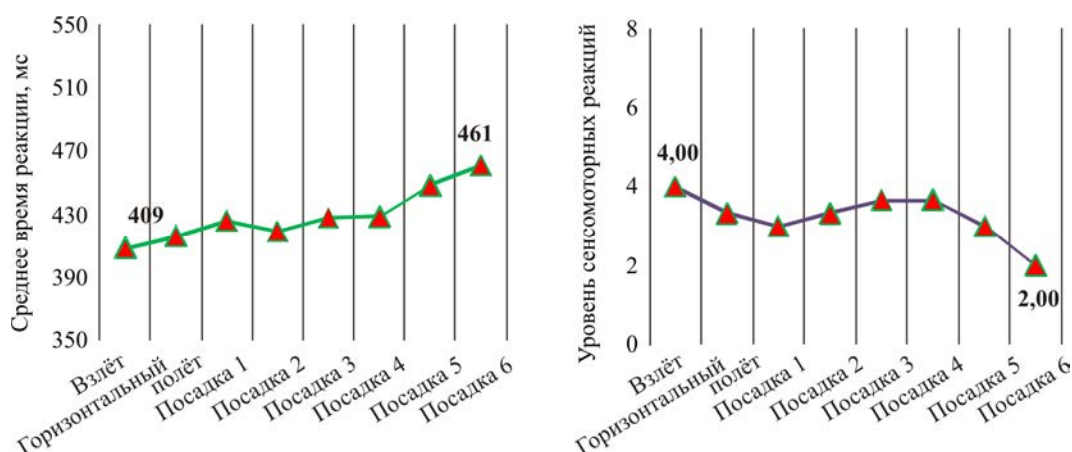


Рис. 1. Динамика показателей СЗМР

В тесте на оценку концентрации внимания выявлена выраженная динамика на протяжении всех этапов тестирования по минимальному времени реакции ($p = 0,041$), однако этот показатель в начале и в конце тестирования значимо не различался ($p = 0,859$). Иная динамика наблюдается в отношении доли правильных ответов, которая регистрировалась во время каждого из этапов. Межэтапная динамика данного показателя не была статистически значимой ($p = 0,369$), однако между крайними этапами тестирования различия были статистически значимыми, что указывает на ухудшение показателей и развитие утомления ($p = 0,026$): медиана доли правильных ответов снизилась на 10 % от начала к концу тестирования.

По результату проведения ВСП установлено, что RMSSD является единственным показателем, коррелирующим с наиболее значимыми показателями СЗМР и концентрации внимания. В частности, были выявлены статистически значимые связи меж-

ду RMSSD и долей верных ответов при оценке функции внимания ($r = 0,756$; $p = 0,030$), а также между RMSSD и средней скоростью СЗМР ($r = -0,786$; $p = 0,021$). Данные корреляционные связи указывают на возможность в дальнейшем включения этих показателей (концентрация внимания или СЗМР или ВСП) в качестве новых метрик оценки утомления (рис. 2).

Из данных табл. 3 следует, что такие показатели, как кривизна траектории взгляда и число фиксаций взгляда, имели статистически значимую динамику на протяжении всех этапов тестирования. Темп прироста составил 2,21 и 11,8 % для кривизны траектории взгляда и числа фиксаций взгляда соответственно (рис. 3).

В ходе анализа выявлено наличие сильной статистически значимой обратной корреляции (рис. 3) между RMSSD и таким показателем айтрекинга, как число фиксаций взгляда ($r = -0,747$; $p = 0,033$).

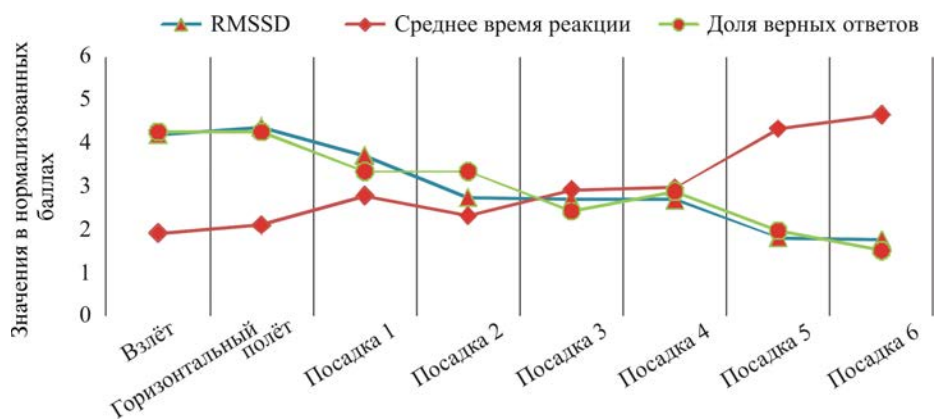


Рис. 2. Оценка связи между показателями ВСР, СЗМР и концентрации внимания

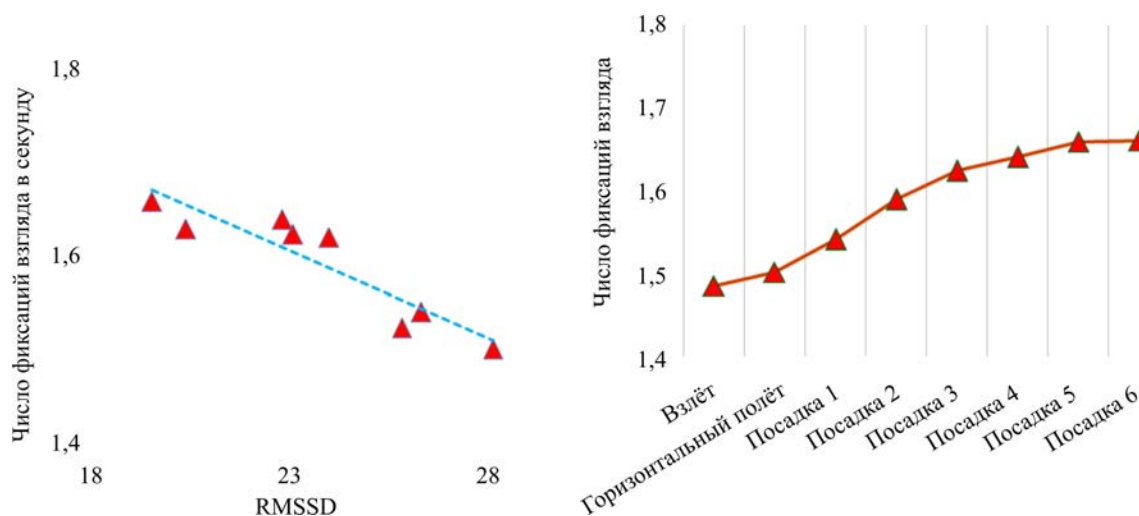


Рис. 3. Динамика показателей айтрекинга у пилотов в эксперименте

Результаты анализа динамики психофизиологических исследований свидетельствовали о наступлении признаков утомления, при котором фиксировался рост ошибок деятельности пилотов. Факт совершения ошибок регистрировали пилоты-инструкторы, наблюдавшие за ходом выполнения полета. Были отмечены ошибки в технике пилотирования, навигации, выполнении процедур взаимодействия и распределения внимания, в ведении радиосвязи. Степень значимости ошибок условно была оценена баллами от 1 до 4 (незначимые, преодолимые, грубые, критичные). Оказалось, что количество и степень значимости совершаемых ошибок нарастали по ходу эксперимента и по мере увеличения интенсивности нагрузки. К концу эксперимента различия, по сравнению с начальными этапами, были достоверны, $p < 0,05$.

Показатель RMSSD сильно и статистически значимо коррелировал с числом баллов ошибок ($r = -0,731$; $p = 0,040$). Схожая тенденция наблюдалась в отношении корреляционных взаимодействий между числом баллов ошибок пилотов и долей верных ответов при оценке концентрации внимания ($r = -0,722$; $p = 0,043$). Также прямые статистически значимые корреляции наблюдались при оценке связи между числом баллов ошибок и

кривизной траектории взгляда ($r = 0,922$; $p = 0,001$), а также между числом баллов и числом фиксации взгляда ($r = 0,905$; $p = 0,002$).

Некоторыми экипажами были совершены грубые ошибки пилотирования (например, пропущена высота ухода на второй круг, допущена неполная подготовка к заходу на посадку на одном двигателе, неправильно оценена ситуация с отказом двигателя, потеряна высота при посадке и т.п.). Общее количество ошибок нарастало к концу эксперимента.

Таким образом, в эксперименте на авиационных тренажерах были смоделированы условия, близкие к интенсивным сенсорным, информационным, интеллектуальным, эмоциональным нагрузкам, которым подвергаются пилоты при управлении современным ВС в реальных условиях полета, по которым труд пилота может быть отнесен к напряженному 3-й степени (3.3). При этом состояние психофизиологических функций пилота может находиться на уровне, угрожающем безопасности полета, что подтверждается данными совершенных ошибок в технике пилотирования. Ухудшение психофизиологических показателей в динамике эксперимента было тесно связано с возрастанием на-

грузки, что подтверждает отнесение НТ пилотов к классу 3.3.

Разработка концепции оценки НТ пилотов включала анализ летных нагрузок и выявление признаков утомления на основании самооценки пилотов, как это рекомендовано Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и имеет отражение в других научных работах [11]. В соответствии с этими рекомендациями *проведено анкетирование 667 пилотов*. Результаты свидетельствуют о том, что их труд сопровождается выраженными интеллектуальными, сенсорными, эмоциональными нагрузками и интенсивными режимами труда. Установлено, что более 70 % пилотов в полете сосредоточенно следят за приборами свыше 75 % времени; около 30 % получают за час полета в среднем более 300 сигналов (световых, звуковых); у 60,5 % пилотов среднее количество пересекаемых часовых поясов за полетную смену составляет от 2 до 4, а у 18 % – более 4. Среди факторов, влияющих на утомление, пилоты отмечают недостаток отдыха и сна, при этом 1,7 % пилотов «никогда» не успевают отдохнуть, 44 % – «редко», а у 60 % сон между полетными сменами носит прерывистый характер и отличается сложностью засыпания. Доля пилотов, которые во время полета могут впадать в состояние «микросна», составляет 74,3–82,9 %.

О значимости получения информации об утомлении пилотов методом самооценки говорится в докладе ведущего эксперта по безопасности полетов и человеческому фактору, члена рабочей группы IATA по FRMS Э.И. Суриной [12]. Так, по данным систем добровольных сообщений (CAA, FAA, NASA), установлено, что 90 % пилотов считают утомление ключевой проблемой работы, 30 % ошибок они совершают по причине утомления, 7 % пилотов считают, что утомление – фактор, которым почти невозможно управлять волевым усилием. По другим данным, 50 % KBC в полетах длительностью более 12 ч predisposed к АП (Национальное бюро по безопасности на транспорте, США); при этом 20 % инцидентов прямо или косвенно связаны с утомлением (FAA). 43 % пилотов хотя бы раз засыпали во время полета, 31 % сообщили, что во время пробуждения обнаруживали спящим второго пилота (Британская ассоциация пилотов)⁹. В соответствии с российскими источниками авиационные происшествия по всем видам работ, обусловленных человеческим фактором, составили в 2020 г. около 80 % [13].

Согласно опросам, проведенным в Австрии (85 %), Швеции (89 %), Германии (92 %) и Дании (93 %), 4 из 5 пилотов испытывают усталость в кабине. Тем не менее, 70–80 % уставших пилотов не подавали отчет об утомляемости или не заявляли о непригодности к полетам [14].

Среди факторов, вызывающих утомление, отмечается более выраженный утомляющий эффект многократных взлетов и посадок, по сравнению с одним полетом такой же длительности [15], полетов в ночное время или при пересечении часовых поясов и др. [2, 16], при выполнении сверхурочных работ, связанных не только с утомлением, но и с более высоким уровнем травматизма (на 61 %).

Анализ *состояния здоровья пилотов ВС ГА по показателям хронической заболеваемости* позволил установить обусловленность некоторых болезней высокой НТ. Выявлена значительная частота хронических заболеваний систем кровообращения – 80,6 %, пищеварения – 38,4 % и нервной системы – 17,4 % среди пилотов и достоверно более высокий риск развития этих заболеваний (в 8,5; 4 и более чем в 17 раз соответственно), по сравнению с водителями, труд которых также отличается высокой напряженностью. Показано, что эти болезни связаны с нервно-эмоциональной нагрузкой и могли стать причиной профнепригодности пилотов. Установлено, что эти заболевания связаны с нервно-эмоциональными и сенсорными нагрузками и могли стать причиной профнепригодности пилотов, что также подтверждается другими исследованиями.

Исследование причин и обстоятельств авиационных происшествий (АП) в гражданской авиации России за период с 2010 по 2021 г. позволило определить роль утомления и стресса в их возникновении: 49,7 % АП были связаны с человеческим фактором, в том числе 8,4 % случаев обусловлены ошибками пилотов, произошедшими в результате их утомления из-за нарушений РТО и других причин (производственные факторы (шум), полеты в темное время суток, работа в ночную смену, общие часы налета за полетную смену, месяц / год и равномерность распределения летной нагрузки, длительность предполетного отдыха и ежегодного отпуска), способствующих увеличению риска возникновения АП в 3–5 раз.

Анализ данных о соблюдении РТО летными экипажами по результатам расследования авиационных происшествий показал, что в ряде случаев имели место нарушения норм полетного времени за сутки, месяц, год (от 2,4 до 12 % случаев по разным показателям), а также длительности ежегодного отпуска: почти 1/3 пилотов не имела отпуска в течение года, предшествовавшего АП; у 18,5 % KBC отпуск составлял 10–29 дней, у 8 % вторых пилотов – 1–9 дней, еще у 16 % – 10–29 дней. Налет за последние трое суток в 6–10 % случаев превышал 13–16 ч (для KBC и вторых пилотов), количество посадок за этот же период в 26,8 % случаев составляло от 5 до 8 (в остальных случаях – менее 5). И хотя превышения норм полетного времени (с учетом допускаемых сверхурочных работ) не было установлено, большинство

⁹ Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2020 г. // Межгосударственный авиационный комитет. – 2021. – 76 с.

из указанных случаев закончились авиакатастрофами. Очевидно, что нарушения РТО, чрезмерная лётная нагрузка связаны с большим риском утомления пилотов и снижением безопасности полетов.

В комплексе профилактических мер системы поддержания здоровья, охраны труда и предупреждения аварийности основополагающее значение имеет **законодательная база**. Для членов экипажей ВС это в первую очередь СП 2.5.3650-20¹⁰, регламентирующие условия их труда только по трем факторам. Однако характеристика условий труда членов летных экипажей самолетов и вертолетов включает практически все известные производственные факторы, при этом их уровни могут многократно превышать допустимые. Сложилась ситуация, при которой большая часть факторов условий труда пилотов не регламентируется и не контролируется, хотя гигиенические нормативы являются ориентирами для конструкторов и эксплуатантов ВС, руководителей организаций, выполняющих обеспечение регламентируемых условий труда пилотов и контроль их состояния.

Между тем хорошо известно, что воздействие всех производственных факторов (особенно шума, вибрации, инфразвука, неблагоприятных эргономических параметров рабочих мест, рабочей позы) способствует развитию утомления работников¹¹ [17–19]. Для пилотов отмена их контроля не улучшает условия труда и не способствует повышению безопасности полетов наряду с наличием такого фактора риска, как «перерабатывание», что еще более усугубляет ситуацию с их невротизацией и утомлением [20].

Дополнительным аргументом для внесения соответствующих нормативов в СП 2.5.3650-20¹⁰ в раздел, касающийся обеспечения безопасности на воздушном транспорте, является наличие в упомянутых СП аналогичных нормативов для работников подвижного состава, морских и речных судов, авиадиспетчеров. В отношении вибрации следует отме-

тить, что нормативные величины для различных типов ВС содержатся в действующем ГОСТ 23718-2014¹², а среди пилотов вертолетов регистрируются профессиональные заболевания, связанные с воздействием вибрации, что обуславливает необходимость контроля этого фактора. Регламентация ионизирующего излучения, действующего на пилотов реактивных ВС, предусмотрена в МКРЗ, 60, ч. 1, п. 136в¹³ и СанПиН 2.6.1.2800-10¹⁴.

Отсутствие требований к факторам условий труда и трудового процесса делает невозможным осуществление их контроля на рабочих местах, из-за чего до сих пор не принят приказ Минтруда России «Об утверждении особенностей проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах членов летных и кабинных экипажей воздушных судов гражданской авиации». Основная сложность разработки «особенностей СОУТ» членов экипажей ВС ГА заключалась в отсутствии критериев оценки НТ. В результате необходимые требования не включаются в руководства по эксплуатации ВС, не разрабатываются меры профилактики, возникают проблемы при составлении санитарно-гигиенических характеристик условий труда работников, отсутствуют объективные основания для разработки комплекса мер профилактики утомления членов экипажей.

Еще одним важным инструментом обеспечения безопасности полетов является РТО, который работает недостаточно эффективно. Приказ Минтранса России¹⁵ и Положение были изданы 17 лет назад и нуждаются в пересмотре. Об этом свидетельствует и анализ данных расследования причин АП, показавший, что РТО в ряде случаев не соблюдался. Это привело к переутомлению пилотов и возникновению аварийных ситуаций (около 9 % случаев АП). Необходимо обновление системы регламентации РТО и внедрение современных механизмов контроля за их соблюдением пилотами с учетом международного опыта.

¹⁰ СП 2.5.3650-20. Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры / утв. постановлением Главного врача РФ от 16 октября 2020 г. № 30 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892> (дата обращения: 05.04.2022).

¹¹ Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Э.И. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. – М.: Медицина, 1984. – 240 с.

¹² ГОСТ 23718-2014. Самолеты и вертолеты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни вибрации в салонах и кабинах экипажа и методы измерения вибрации / принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол от 30 мая 2014 г. 67-П) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112158> (дата обращения: 05.04.2022).

¹³ Публикация 60 МКРЗ. Радиационная безопасность. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 192 с.

¹⁴ СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с.

¹⁵ Об утверждении Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха членов экипажей воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации: Приказ Минтранса России от 21 ноября 2005 г. № 139 (ред. 17.09.2010 г.) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901964448> (дата обращения: 07.04.2022).

Проведенный документальный анализ показал, что действующая законодательно-надзорная основа регламентации условий труда членов летных экипажей не обеспечивает необходимого контроля и снижения профессиональных рисков, укрепления состояния здоровья и профилактики утомления пилотов, основной причиной которого является высокая напряженность трудового процесса.

Выполненные в настоящей работе комплексные исследования позволили разработать концепцию оценки НТ при выполнении современных высоконапряженных видов работ, характеризующихся большими объемами воспринимаемой и перерабатываемой информации, скоростью переключения внимания и принятия решений, предъявляющих высокие требования к способности выполнения работником сенсорной деятельности в условиях дефицита времени. Концепция включает новый подход к классификации напряженности трудового процесса по степени вредности, введение подкласса 3.3 для показателя сенсорных нагрузок и других показателей, предложенных для контроля информационных, интеллектуальных и эмоциональных нагрузок (с количественными критериями), изменения в понятийном аппарате с внесением соответствующих изменений в нормативно-законодательную базу. Предложения разработаны на примере оценки напряженности труда пилотов ГА авиации, но могут быть использованы и для других профессий с адаптацией к их специфике.

Концепция обоснована результатами комплексной оценки современного состояния условий труда пилотов ВС ГА, анализом функционального статуса организма пилотов при выполнении полетного задания, исследованных, в том числе с использованием впервые примененного для этих целей метода окулографии, данных о распространенности стресс-факторов среди пилотов, итогов анкетного опроса членов экипажей ВС, а также результатов оценки значимости уровня летных нагрузок и признаков утомления в возникновении авиационных происшествий.

В современных условиях профессиональная заболеваемость резко снизилась, а вероятность возникновения тяжелых форм профессиональной патологии стала чрезвычайно малой. В то же время уровни действующих факторов, на основании которых условия труда должны быть отнесены к высокой степени вредности, во многих профессиях остались без изменения, а для НТ даже возросли. НТ напрямую не связана с развитием профессиональных заболеваний, но может явиться причиной профнепригодности работников и возникновения аварийных ситуаций. К таким факторам могут быть отнесены не только НТ, но и параметры микроклимата, инфразвук, электромагнитные поля, световая среда. Для всех указанных факторов, за исключением НТ, предусмотрена оценка

вредных условий труда по всем существующим степеням вредности, включая классы 3.1–3.4 и 4.

В соответствии МКБ-10¹⁶ к числу факторов, представляющих потенциальную опасность для здоровья, связанных с психосоциальными обстоятельствами, относятся также проблемы, связанные с работой, в частности «напряженное рабочее расписание» (код МКБ Z56.3). Это позволяет отнести фактор НТ (в том числе и пилотов ВС ГА) к факторам трудового процесса, для которых существует законодательное основание для возникновения опасных для здоровья состояний.

НТ, вызывая неблагоприятные изменения в функциональном состоянии организма работников, может повышать профессиональный риск, связанный с травмоопасностью, возникновением аварийных ситуаций. По этим причинам предложено внести следующие изменения в определения понятий подкласса условий труда 3.3 для напряженных видов работ.

К *подклассу 3.3* (вредные условия труда 3-й степени) относятся условия труда, когда на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых, способны вызвать функциональные изменения в организме работника, которые могут привести к развитию профессиональных заболеваний средней и тяжелой степени тяжести (в том числе с потерей профессиональной трудоспособности) и / или появлению хронических заболеваний, связываемых с условиями труда и / или связанных с высокой травмоопасностью и риском возникновения аварийных ситуаций.

Интеллектуальная нагрузка – нагрузка, при которой трудовой процесс рассматривается с точки зрения его мыслительной деятельности. Для пилотов ВС ГА интеллектуальная нагрузка оценивается по количеству многофункциональных приборов (более 10 бит/с) в кабине ВС.

Информационная нагрузка – количественная мера информационного потока, поступающего работнику в единицу времени, бит/с.

Многофункциональный прибор – прибор, через который проходящий информационный поток составляет более 10 бит/с.

Исследование показало возможность объективной оценки зрительных сигналов с помощью метода окулографии (айтрекинга). Однако физиологические критерии для оценки выполняемой пилотом работы при использовании данного устройства до настоящего времени отсутствовали. Полученные данные позволили предложить такие ориентиры на основании сопоставления показателей окулографии и текущих сенсорных нагрузок с результатами одновременно осуществляемых физиологических исследований с использованием методов оценки ПЗМР, СЗМР, ВСР, а также учета количества ошибок, совершаемых пилотом при управлении ВС по

¹⁶ Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) / утв. приказом Минздрава России от 27.05.97 г. № 170 (ред. от 12.01.1998) [Электронный ресурс] // Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-го пересмотра: онлайн-версия. – URL: <https://mkb-10.com/> (дата обращения: 18.03.2022).

Классы (подклассы) условий труда по НТ пилотов ГА

Наименование показателя	Класс (подкласс) условий труда			
	допустимый		вредный	
	2	3.1	3.2	3.3
Сенсорные нагрузки				
Длительность сосредоточенного наблюдения, % от полетной смены	До 50	51–75	76–85	Более 85
Плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в среднем за час полетной смены, единиц	До 175	176–300	301–600	Более 600
Число объектов одновременного наблюдения за час работы	До 10	11–25	26–35	Более 35
Наблюдение за экранами видеотерминалов и приборами, часов за полетную смену	До 6	От 6 до 8	От 8 до 10	10 и более
Длительность нагрузки на слуховой анализатор, часов за полетную смену	До 6	От 6 до 8	От 8 до 10	10 и более
Нагрузка на голосовой аппарат, часов в неделю	До 20	От 20 до 25	От 25 до 30	Более 30
Информационные нагрузки				
Увеличение времени фиксации взгляда на приборе, % от полетного времени	До 10	От 11 до 20	От 21 до 35	Более 35
Частота сменяемости изображения / значения на экране, раз/ч	До 5	От 6 до 15	От 16 до 30	Более 30
Объем информационных потоков в единицу времени, бит/с	До 5	От 6 до 10	От 11 до 100	Более 100
Интеллектуальные нагрузки				
Количество многофункциональных приборов, более 10 бит/с	1–3	4–5	6–7	Более 7
Эмоциональные нагрузки				
Стресс-факторы трудовой деятельности: ошибка в управлении, сбой алгоритма действий, взлеты / посадки в непредсказуемых условиях, количество в смену	До 10	От 11 до 15	От 16 до 20	Более 20
Количество конфликтных ситуаций, за смену	До 3	От 4 до 6	От 7 до 9	Более 9
Монотонность нагрузок				
Время пассивного наблюдения за ходом производственного процесса, % времени смены	До 80	От 81 до 90	От 91 до 95	Более 95
Режим труда				
Длительность полетной смены, ч	До 8	9	10	Более 10
Количество взлетов / посадок, за полетную смену	1–2	3–5	6–8	Более 8
Количество взлетов / посадок, за рабочую неделю	1–6	7–10	11–14	Более 14
Количество ночных полетных смен, за рабочую неделю	1–2	3	4	Более 4
Количество пересеченных часовых поясов, за полетную смену	1–3	4–5	6–7	Более 7
Количество пересеченных часовых поясов, за рабочую неделю	1–6	7–12	13–18	Более 18

мере увеличения интенсивности лётных нагрузок. Показатели окулографии были шкалированы по степени выраженности в зависимости от нарастания признаков утомления на основании увеличения времени фиксации взгляда на приборе (%), частоты сменяемости изображения / значения на экране (раз/мин), объема информационных потоков в единицу времени (бит/с), количества многофункциональных приборов (более 10 бит/с).

Особую значимость в НТ пилотов ВС ГА имеют специфические показатели лётной нагрузки – такие, как длительность полетной смены (которая в условиях дальнемагистральных полетов может превышать 10 ч), количество совершаемых взлетов и посадок и число пересеченных часовых поясов за

полетную смену, количество ночных полетных смен за рабочую неделю. Эти показатели обозначены как «режимы труда». Критерии для них были разработаны на основании данных, регламентирующих РТО, результатов исследований авиационных происшествий в ГА, самооценки состояния пилотов.

Результаты выполненной работы выявили необходимость расширения границ диапазонов показателей и включения для них степени 3.3.

Критерии, разработанные для оценки напряженности трудового процесса членов лётных экипажей, приведены в табл. 4.

Выводы. Результаты исследования показали, что границы степеней вредности труда по показателям, установленным в документах¹⁷, недостаточны для

¹⁷ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29 июля 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 12.03.2022); Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: Приказ Минтруда России от 24.01.2014 г. № 33н (ред. от 27.04.2020) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 12.03.2022); МИ НТП.ИИТ-17.01-2018. Методика измерений показателей напряженности трудового процесса для целей специальной оценки условий труда / утв. приказом Генерального директора АО «Клинический институт охраны и условий труда» А.В. Москвичевым от 06.12.2018 № 010-ОД. – М., 2018. – 42 с.

оценки НТ пилотов. Это обусловило необходимость уточнения критериев и введения дополнительной степени оценки вредности труда по напряженности трудового процесса – класса 3.3, а также разработки новых показателей оценки информационных, интеллектуальных и эмоциональных нагрузок.

Разработаны новые критерии оценки НТ при выполнении пилотами высокоинтенсивных лётных нагрузок, обоснованные результатами психофизиологических исследований на авиатренажерах и подтвержденные данными анкетного опроса членов экипажей ВС, закономерностями формирования хронической заболеваемости пилотов и выявленными причинно-следственными взаимосвязями с увеличением риска авиационных происшествий в ГА.

В условиях интенсивных лётных нагрузок, которым подвергаются пилоты, состояние их психофизиологических функций может находиться на уровне, угрожающем безопасности полета, что подтверждается данными физиологических исследова-

ний и совершенных пилотами ошибок в технике пилотирования, навигации, распределения внимания, ведения радиосвязи, установленными в условиях эксперимента на авиационных тренажерах, а также по данным анкетного опроса и при расследовании фактических авиационных происшествий.

Эффективная законодательная база регламентации и контроля условий труда пилотов, адекватное лётной нагрузке нормирование НТ, установление дифференцированных режимов труда и отдыха являются обязательными условиями снижения профессиональных рисков пилотов ГА и профилактики утомления как одной из ведущих мер в снижении рисков авиационных происшествий и обеспечении безопасности полетов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Санитарно-гигиеническая оценка условий труда пилотов гражданской авиации / И.В. Бухтияров, Е.В. Зибарев, Н.Н. Курьеров, О.В. Иммель // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 10. – С. 1084–1094. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1084-1094
2. Оценка показателей напряженности труда и факторов, влияющих у пилотов гражданской авиации по результатам анкетирования / Е.В. Зибарев, И.В. Бухтияров, Е.А. Вальцева, А.В. Токарев // Медицина труда и промышленная экология. – 2021. – Т. 61, № 6. – С. 356–364. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-6-356-364
3. База по расследованиям [Электронный ресурс] // Межгосударственный авиационный комитет. – URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya> (дата обращения: 13.03.2022).
4. Резервы внимания летчика как оценка процесса подготовки на авиационном тренажере / Ю.А. Кукушкин, А.В. Пономаренко, Ю.П. Цигин, С.Б. Страмнов // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – 2007. – Т. 38, № 1–1. – С. 59–64.
5. Вайсман А.И. Физиологическая характеристика нервно-эмоционального напряжения водителей во время управления автомобилем // Гигиена и санитария. – 1975. – № 6. – С. 13–16.
6. Информация как физический фактор: проблемы измерения, гигиенической оценки и ИТ-автоматизации / Э.И. Денисов, Л.В. Прокопенко, А.Л. Еремин, Н.Н. Курьеров, В.И. Бодякин, И.В. Степанян // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 1. – С. 36–43.
7. Денисов Э.И., Еремин А.Л. Информация, здоровье, инновации: гигиенические аспекты // Вестник РГМУ. – 2013. – № 5–6. – С. 114–118.
8. Вопросы измерения и оценки информационных нагрузок при умственном труде / Э.И. Денисов, А.Л. Еремин, И.В. Степанян, В.И. Бодякин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2013. – № 10. – С. 054–062.
9. Бухтияров И.В., Денисов Э.И., Еремин А.Л. Основы информационной гигиены: концепции и проблемы инноваций // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 4. – С. 5–9.
10. Зуев А.В., Федотова И.В. Bit или не bit? Информационная нагрузка как фактор профессионального риска // Безопасность и охрана труда. – 2015. – № 2. – С. 50–53.
11. Fatigue in Two-Pilot Operations: Implications for Flight and Duty Time Limitations / D. Powell, M.B. Spencer, D. Holland, K.J. Petrie // Aviat. Space Environ. Med. – 2008. – Vol. 79, № 11. – P. 1047–1050. DOI: 10.3357/ASEM.2362.2008
12. Сурина Э.И. Разработка и внедрение системы управления рисками, связанными с утомлением: доклад-презентация ведущего эксперта по безопасности полетов и человеческому фактору, члена рабочей группы IATA по FRMS [Электронный ресурс] // Volga-Dnepr Group. – URL: <https://avam-avia.ru/wp-content/uploads/2020/02/41-surina-ei.pdf> (дата обращения: 14.02.2022).
13. Pilot Fatigue Barometer [Электронный ресурс] // European Pilots Association AISBL. – URL: https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/eca_barometer_on_pilot_fatigue_12_1107_f.pdf (дата обращения: 15.04.2022).
14. Fatiguing effect of multiple take-offs and landings in regional airline operations / K.A. Honn, B.C. Satterfield, P. McCauley, J.L. Caldwell, H.P. van Dongen // Accid. Anal. Prev. – 2016. – Vol. 86. – P. 199–208. DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.005
15. Fatigue and Its Management in the Aviation Industry, with Special Reference to Pilots / R. Olaganathan, T.B. Holt, J. Luedtke, B.D. Bowen // JATE. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 45–57. DOI: 10.7771/2159-6670.1208
16. The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States / A.E. Dembe, J.B. Erickson, R.G. Delbos, S.M. Banks // Occup. Environ. Med. – 2005. – Vol. 62, № 9. – P. 588–597. DOI: 10.1136/oem.2004.016667
17. Кандор И.С. Физиологическая стоимость деятельности. Тяжесть и напряженность труда // Физиология трудовой деятельности / под ред. В.И. Медведева. – СПб.: Наука, 1993. – С. 107–152.
18. Бодров В.А. О проблеме утомления летного состава // Военно-медицинский журнал. – 1986. – № 5. – С. 40–43.

19. Chronic venous disorders and occupation / F. Tomei, T.P. Baccolo, E. Tomao, S. Palmi, M.V. Rosati // Am. J. Ind. Med. – 1999. – Vol. 36, № 6. – P. 653–665. DOI: 10.1002/(sici) 1097-0274(199912)36: 6<653:: aid-ajim8>3.0.co; 2-p

20. Сечко А.В. Профессиональное выгорание в системе стрессов у авиационных специалистов // Современная зарубежная психология. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 102–110. DOI: 10.17759/jmfp.2021100110

Разработка новой концепции оценки напряженности труда пилотов гражданской авиации / Е.В. Зибарев, И.В. Бухтияров, О.К. Кравченко, П.А. Астанин // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 73–87. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07

UDC 613.693

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07.eng



Research article

DEVELOPMENT OF A NEW CONCEPT FOR ASSESSING WORK INTENSITY OF CIVIL AVIATION PILOTS

E.V. Zibarev¹, I.V. Bukhtiyarov¹, O.K. Kravchenko¹, P.A. Astanin²

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budennogo Ave., Moscow, 105275, Russian Federation

²Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova Str., Moscow, 117321, Russian Federation

The article describes a concept for assessing work intensity (LI) developed by the authors. This concept is based on the results produced by comprehensive assessment of the current working conditions, by analyzing the psychophysiological state of civil aviation (CI) pilots in flight, as well as by assessing a contribution made by flight loads and signs of fatigue to an increase in a risk of aviation accidents (AA).

It has been established that, according to sanitary and hygienic profiles, LI levels at all workplaces of civil aviation pilots correspond to harmful working conditions, which are aggravated by exposure to four other harmful factors (noise, microclimate, vibration, and working posture) in 48 % of cases.

The research results have shown that the risks of fatigue increase significantly after 5 hours of flight. This fatigue manifests itself in the growing number of gaze fixations by 11 %; an increase in an average latency period of a complex visual-motor reaction, by 12 %; the growing number of significant errors for flight safety, by 50 %. All these processes occur in the absence of physiological recovery of the cardiovascular system, $p < 0.05$. Pilots who are in a state of fatigue and stress due to violated work and rest regimes tend to have more AA. This accounts for at least 8.4 % of cases from all others causes.

It is proposed to introduce the 3rd degree of harmfulness for strenuous work, as well as new LI indicators for sensory, informational and intellectual loads, such as an increase in a time required to fix the gaze on a device (in %), the frequency of image / value change on a screen (times/min), the volume of information flows per unit of time (bps), and the number of multifunctional devices (more than 10 bits per second). It has been established that the assessment of LI should be supplemented with specific indicators of the flight load and work regimes. These indicators include the number of takeoffs and landings, the number of crossed time zones, the number of stress factors during a flight, and the number of night flight shifts per week. They are directly related to developing fatigue among pilots and an increased risk of AA occurrence.

Keywords: work intensity, information loads, flight simulators, eye-tracking, fatigue, flight safety, risks of aviation accidents, psychophysiological studies, questioning.

© Zibarev E.V., Bukhtiyarov I.V., Kravchenko O.K., Astanin P.A., 2022

Evgeny V. Zibarev – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Research (e-mail: zibarevevgeny@gmail.com; tel.: +7 (921) 953-02-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5983-3547>).

Igor V. Bukhtiyarov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, director (e-mail: info@jrioh.ru; tel.: +7 (495) 365-02-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>).

Olga K. Kravchenko – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher (e-mail: kravchenko_ok@inbox.ru; tel.: +7 (915) 214-91-25; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6509-2485>).

Pavel A. Astanin – assistant at Medical Cybernetics and Informatics Department (e-mail: med_cyber@mail.ru; tel.: +7 (983) 158-08-14; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1854-8686>).

References

1. Bukhtiyarov I.V., Zibarev E.V., Kuryerov N.N., Immel O.V. Sanitary and hygienic assessment of working conditions of civil aviation pilots. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 10, pp. 1084–1094. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1084-1094 (in Russian).
2. Zibarev E.V., Bukhtiyarov I.V., Valtseva E.A., Tokarev A.V. Assessment of labor intensity indicators and factors affecting fatigue in civil aviation pilots based on the results of the questionnaire. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2021, vol. 61, no. 6, pp. 356–364. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-6-356-364 (in Russian).
3. Investigations. *The Interstate Aviation Committee (IAC)*. Available at: <https://mak-iac.org/en/rassledovaniya/> (13.03.2022).
4. Kukushkin Yu.A., Ponomarenko A.V., Tsigin Yu.P., Stramnov S.B. Rezervy vnimaniya letchika kak otsenka protsessa podgotovki na aviatsionnom trenazhere [The pilot's attention reserves as an assessment of the training process on an aviation simulator]. *Chelovecheskii faktor: problemy psikhologii i ergonomiki*, 2007, vol. 38, no. 1–1, pp. 59–64 (in Russian).
5. Vaisman A.I. Fiziologicheskaya kharakteristika nervno-emotsional'nogo napryazheniya voditelei vo vremya upravleniya avtomobilem [Nervous-emotional stress of drivers while driving]. *Gigiena i sanitariya*, 1975, no. 6, pp. 13–16 (in Russian).
6. Denisov E.I., Prokopenko L.V., Eryomin A.L., Kourierov N.N., Bodiakin V.I., Stepanian I.V. Information as a physical factor: problems of measurements, hygienic evaluation and IT-automation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 36–43 (in Russian).
7. Denisov E.I., Eryomin A.L. Information, health, innovations: hygienic aspects. *Vestnik RGMU*, 2013, no. 5–6, pp. 114–118 (in Russian).
8. Denisov E.I., Eryomin A.L., Stepanian I.V., Bodyakin V.I. Issues of measurement and estimation of information load at intellectual labour. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*, 2013, no. 10, pp. 054–062 (in Russian).
9. Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I., Eryomin A.L. Bases of information hygiene: concepts and problems of innovations. *Gigiena i sanitariya*, 2014, vol. 93, no. 4, pp. 5–9 (in Russian).
10. Zuev A.V., Fedotova I.V. Informational overstrain as a factor of occupational risk. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2015, no. 2, pp. 50–53 (in Russian).
11. Powell D., Spencer M.B., Holland D., Petrie K.J. Fatigue in Two-Pilot Operations: Implications for Flight and Duty Time Limitations. *Aviat. Space Environ. Med.*, 2008, vol. 79, no. 11, pp. 1047–1050. DOI: 10.3357/ASEM.2362.2008
12. Surina E.I. Razrabotka i vnedreniye sistemy upravleniya riskami, svyazannymi s utomleniem: doklad-prezentatsiya vedushchego eksperta po bezopasnosti poletov i chelovecheskomu faktoru, chlena rabochei gruppy IATA po FRMS [Development and implementation of a fatigue-related risk management system: report-presentation of a leading expert on flight safety and the human factor, a member of the IATA FRMS working group]. *Volga-Dnepr Group*. Available at: <https://avam-avia.ru/wp-content/uploads/2020/02/41-surina-ei.pdf> (14.02.2022) (in Russian).
13. Pilot Fatigue Barometer. *European Pilots Association AISBL*. Available at: https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/eca_barometer_on_pilot_fatigue_12_1107_f.pdf (15.04.2022).
14. Honn K.A., Satterfield B.C., McCauley P., Caldwell J.L., van Dongen H.P. Fatiguing effect of multiple take-offs and landings in regional airline operations. *Accid. Anal. Prev.*, 2016, vol. 86, pp. 199–208. DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.005
15. Olaganathan R., Holt T.B., Luedtke J., Bowen B.D. Fatigue and Its Management in the Aviation Industry, with Special Reference to Pilots. *JATE*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 45–57. DOI: 10.7771/2159-6670.1208
16. Dembe A.E., Erickson J.B., Delbos R.G., Banks S.M. The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States. *Occup. Environ. Med.*, 2005, vol. 62, no. 9, pp. 588–597. DOI: 10.1136/oem.2004.016667
17. Kandor I.S. Fiziologicheskaya stoimost' deyatelnosti. Tyazhest' i napryazhennost' truda [Physiological cost of activity. The severity and intensity of labor]. *Fiziologiya trudovoi deyatelnosti*. In: V.I. Medvedev ed. Saint Petersburg, Nauka, 1993, pp. 107–152 (in Russian).
18. Bodrov V.A. O probleme utomleniya letnogo sostava [On the problem of flight crew fatigue]. *Voенно-meditsinskii zhurnal*, 1986, no. 5, pp. 40–43 (in Russian).
19. Tomei F., Baccolo T.P., Tomao E., Palmi S., Rosati M.V. Chronic venous disorders and occupation. *Am. J. Ind. Med.*, 1999, vol. 36, no. 6, pp. 653–665. DOI: 10.1002/(sici)1097-0274(199912)36:6<653::aid-ajim8>3.0.co;2-p
20. Sechko A.V. Burnout in the stress system of aviation professionals. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 102–110. DOI: 10.17759/jmfp.2021100110 (in Russian).

Zibarev E.V., Bukhtiyarov I.V., Kravchenko O.K., Astanin P.A. Development of a new concept for assessing work intensity of civil aviation pilots. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 73–87. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07.eng

Получена: 11.05.2022

Одобрена: 27.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022