

УДК 159.9

ГРНТИ 15.41.21

МЕТОД ПОИСКА ЭРГОНОМИЧЕСКИХ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ УЯЗВИМОСТЕЙ В ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ¹

© 2022 г. В.В. Косьянчук *, Ю.В. Бессонова **, А.А. Обознов ***,
А.Н. Занковский ****, И.И. Грешников *****, И.А. Махортов *****

* - Доктор технических наук, профессор, заместитель Генерального директора,
Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский
институт авиационных систем», Москва;
e-mail: vvk@gosniias.ru

** - Кандидат психологических наук, старший научный сотрудник,
Институт психологии РАН, Москва;
e-mail: bessonovajv@ipran.ru

*** - Доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник,
Институт психологии РАН, Москва;
e-mail: aao46@mail.ru

**** - Доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией психологии
труда, эргономики, инженерной и организационной психологии; Институт психологии
РАН, Москва
e-mail: grid-leader@mail.ru

***** - Начальник сектора, Федеральное автономное учреждение «Государственный
научно-исследовательский институт авиационных систем», Москва;
e-mail: iigreshnikov@2100.gosniias.ru

***** - Инженер, Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-
исследовательский институт авиационных систем», Москва;
e-mail: iamahortov@2100.gosniias.ru

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-29-06091 мк

Актуальность исследования состоит в недостаточной методической проработанности вопросов выявления несоответствий между способами представления информации на интерфейсах и возможностями человека-оператора по её восприятию и оценке. Для объяснения несоответствий вводятся понятия эргономических уязвимостей интерфейса и психологических уязвимостей человека-оператора. Цель исследования заключалась в экспериментальной проверке метода поиска эргономических и психологических уязвимостей при взаимодействии человека-оператора с интерфейсом в процессе выполнения задания на летном тренажере. Гипотеза исследования: эргономические и психологические уязвимости выявляются при вводе усложнений во взаимодействие человека-оператора с интерфейсом. В экспериментах участвовали 5 обученных операторов, имевших устойчивые умения и навыки пилотирования летных тренажеров, мужчины. Исследование проводилось на стендовой базе Государственного научно-исследовательского института авиационных систем (Москва). Полетное задание оператора заключалось в одновременном выполнении двух задач — задачи поиска, обнаружения и опознании заданного наземного объекта и задачи контроля указателя скорости. Каждый оператор выполнял задание пять раз. Задание №1 было фоновым без ввода усложнений, задание №2 выполнялось в усложненных погодных условиях. Далее очередные задания выполнялись с нарастанием усложнений — в задании №3 к усложненным погодным условиям добавлялось ограничение времени его выполнения (10 минут с обратным отсчетом), в задании №4 добавлялся отказ левого двигателя, в задании №5 — влияние измененного функционального состояния оператора (устомление). Первые четыре задания для всех операторов проводились в утренние часы, задание №5 - в конце рабочего дня (17:00-18:00). Общее время эксперимента составляло около одного часа. Методы и методики исследования. Показателями надежности поиска и опознания наземного объекта служили количество случаев его правильного опознания; показателями выдерживания скорости в заданных пределах — относительное количество объективных замеров, подтверждающих её нахождение в заданном диапазоне, а также количество голосовых докладов операторов о значениях указателя скорости (3 доклада для каждого задания). В процессе выполнения полетных заданий проводилась регистрация окуломоторной активности и движения взора операторов с помощью айтрекера SMI Red-M 250 Hz (SMI, Germany). Для оценки функционального состояния операторов использовались аппаратные методики «Критическая частота слияния мельканий», «Реакция на движущийся объект», теппинг-тест, «Сложная сенсомоторная реакция», а также регистрировались показатели электрокардиограммы на электроэнцефалографе Нейрон-Спектр-4/П. После окончания эксперимента с операторами проводилось структурированное интервью для выявления затруднений, допущенных ошибочных действий и их субъективных причин. Результаты: Заданный наземный объект был правильно опознан в 84% случаев. Установлены 4 случая необнаружения объекта 3-мя операторами (3 случая из 4-х были при выполнении задания 2). Установлено, что значения скорости в заданных пределах находились в 63%

случаев, Количество сделанных докладов операторов о текущих значениях составило 83%. (пропущены 13 докладов). По данным интервью, операторы в качестве приоритетной выбирали задачу поиска и опознания заданного наземного объекта. Зрительный контроль скорости выполнялся значительно реже, т.к. для считывания указателя скорости необходим перенос взгляда в другую, пространственно удаленную зону интерфейса. Таким образом, результаты интервью позволили выявить ряд эргономических проблем, связанных с недостаточно информативной индикацией и автоматизацией ее отображения. Эти проблемы особенно ярко проявились на этапе выполнения совмещенной деятельности. Введение дополнительных усложняющих факторов полета привело к актуализации эргономических уязвимостей, заложенных на этапе проектирования интерфейса, и психологических уязвимостей человека-оператора, связанных с распределением внимания. Результаты интервью совпали с данными окуломоторной активности операторов: при выполнении совмещенной деятельности происходит фокусировка внимания на задаче поиска и опознания заданного объекта в ущерб исполнению задачи по выдерживанию и контролю указателя скорости. При этом выполнение первой более приоритетной задачи сопровождается ростом длительности фиксации за счет сокращения длительности фиксации в пространственно удаленной зоне интерфейса, в которой индицируется указатель скорости. Основной вывод исследования состоит в экспериментальном подтверждении возможности выявления эргономических и психологических уязвимостей в взаимодействии человека-оператора с интерфейсом посредством целенаправленных провоцирующих воздействий. Выполнение совмещенной деятельности (поиск и опознание наземного объекта одновременно с докладами о показаниях скорости полета) позволило выявить эргономическую уязвимость использованного в экспериментах интерфейса — чрезмерную пространственную разнесенность зоны, в границах которой человек-оператор ведет поиск и опознание наземного объекта.

Ключевые слова: эргономические и психологические уязвимости, интерфейс, человек-оператор, совмещенная деятельность.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, человек-оператор осуществляет управление сложной технической системой опосредствованно с помощью человеко-машинных и человеко-компьютерных интерфейсов (далее интерфейсы). Несмотря на выполнение эргономических требований и рекомендаций к представлению информации на интерфейсах, затруднения и ошибки человека-оператора в её восприятии и оценивании остаются. Результаты зарубежных исследований последнего десятилетия свидетельствуют о сохранении количества

ошибочных действий операторов в социально значимых отраслях и на потенциально опасных производствах. Ошибки взаимодействия человека-оператора с интерфейсом признаются причиной 80% морских происшествий (Liu et al., 2021). Статистика авиационных происшествий с беспилотными летательными аппаратами показала, что в США за период 2012-2014 г.г. из 68 происшествий с военными беспилотными летательными аппаратами более половины были вызваны ошибками суждений и решениями операторов (Giese, Carr, Chahl, 2013). Выявлен ряд устойчивых проблем человеческого фактора, связанный со взаимодействием человека-оператора с интерфейсами. Основные проблемы сосредоточены в области восприятия и понимания информации, распределения внимания, обеспечения ситуационной осведомленности человека-оператора (Oncu, Yildiz, 2014). Процессы восприятия и понимания человеком-оператором информации являются основой осознания ситуации и прогнозирования ее будущего состояния. При управлении сложными процессами человеку-оператору необходимо отслеживать показатели многочисленных процессов и параметров, выявлять закономерности между ними чтобы сохранять информированность о функционировании системы и прогнозировать будущие изменения. Причиной ошибочного считывания являются именно особенности интерфейса, не соответствующие возможностям человека-оператора и требованиям деятельности. На примере работы атомных электростанций показано, что низкая осведомленность операторов способствует повышению вероятности их ошибок при взаимодействии с интерфейсом за счет некорректного считывания и интерпретации воспринимаемой информации. (Weyers et al., 2010),

Эргономика интерфейсов должна обеспечивать поддержание ситуационной осведомленности операторов и учитывать влияние негативных факторов — снижение внимания в условиях конкурирующих задач, функциональное состояние, информационную загруженность операторов и др. На эргономические проблемы интерфейсов как причину ошибок операторов указывают результаты исследований эксплуатации автоматизированных транспортных средств (Riegler et al., 2020; Barz et al.,

2018) и безопасности дорожного движения (Kosch et al., 2022). Частота ошибок человека-оператора связывается авторами с обеспечением осведомленности о ситуации и рабочей нагрузкой, на которые, в свою очередь, влияют совокупность эргономических решений интерфейса: форм-фактор индикации, время ожидания отклика, наличие обратной связи (de Winter et al., 2014), модальность интерфейса (Zheng, Ren, 2022) и др. Экспериментально доказано, что вариабельность ошибок взаимодействия с интерфейсом для одних и тех же операторов связана с различной когнитивной обработкой информации (Abu-Alqumsan et al., 2017). В целом полученные данные свидетельствовали, что ошибки человека-оператора в значительной степени являются функцией его взаимодействия с техникой, связаны с эргономическими недостатками интерфейса и не нивелируются в процессе обучения. Аналогические данные получены в отечественных исследованиях. Показано, что на современном этапе развития авиации эргономические недостатки кабины летательного аппарата являются причиной 25-30% летных происшествий (Харитонов, Серегин, 2017).

Вновь возникает вопрос «почему человеко-машинные интерфейсы, соответствующие эргономическим требованиям и прошедшие испытания, оказываются впоследствии уязвимыми с точки зрения надёжности взаимодействия с ними человека-оператора?» (Обознов, Бессонова, Занковский, 2020, с.114). В этой связи, актуальным становится обращение к понятиям эргономических и психологических уязвимостей в операторской деятельности. Условием проявления указанных уязвимостей, как и уязвимостей вообще, является влияние определенных провоцирующих воздействий, которые могут оставаться неизвестными или не принятыми в расчет на этапах разработки, испытаний и эксплуатации интерфейсов.

Под эргономической уязвимостью интерфейса понимается его «потенциальное свойство, проявляющееся в возникновении несоответствий организации информационно-управляющего поля интерфейса профессиональным задачам и/или когнитивным, сенсомоторным психофизиологическим и биомеханическим возможностям человека-

оператора. Эргономическая уязвимость человеко-машинного интерфейса проявляется под воздействиями человеческих факторов, не принятых в расчёт при его разработке и создании» (Обознов, Занковский, Бессонова, 2000, с.116). Поскольку в инженерной психологии и эргономике человек-оператор рассматривается в неразрывном взаимодействии с техникой, более конкретно — интерфейсом, эргономические уязвимости интерфейсов необходимо рассматривать в взаимосвязи с психологическими уязвимостями человека-оператора. Понятие психологической уязвимости активно используется в современных исследованиях (Bessonova, 2022), однако в инженерной психологии и эргономике оно практически не применяется. Под психологической уязвимостью будем понимать такой режим функционирования сенсорно-перцептивных, аттенционных, мнемических и других когнитивных процессов человека-оператора, который не обеспечивает его эффективного взаимодействия с интерфейсом. Будучи потенциальными, эргономические и психологические уязвимости могут проявляться (или не проявляться) одновременно в зависимости от провоцирующих воздействий и обстоятельств.

Цель исследования:

Обосновать и провести экспериментальную апробацию метода поиска и оценки эргономических и психологических уязвимостей взаимодействия человека-оператора с пилотажно-навигационным интерфейсом при выполнении полетного задания.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретической базой предлагаемого в статье метода поиска эргономических и психологических уязвимостей интерфейса служит сформулированное Б.Ф. Ломовым более полувека тому назад положение о том, что способ обработки информации человеком-оператором является функцией от отношений между задачами его деятельности и формой сигналов, необходимых для выполнения. Неудачно выбранная форма сигналов приводит к затруднениям восприятия и оценки сигналов человеком-

оператором, возрастанию его нервно-психического напряжения, быстрому утомлению и снижению надежности всей системы «человек-машина» (Ломов, 1966). Исходя из этого положения, источниками возникновения эргономических и психологических уязвимостей являются несоответствия между способами представления информации на интерфейсе, во-первых, с требованиями задач человека-оператора и, во-вторых, сенсорно-перцептивными, аттенционными, мнемическими и другими когнитивными процессами.

Летный труд, который является объектом нашего исследования, относится к совмещенным видам деятельности и требует одновременного выполнения двух (а иногда и более) разноцелевых задач. При достаточном запасе времени происходит поочередное переключение внимания человека-оператора от одной задачи на другую. В случае недостатка времени происходит изменение способа выполнения действий — при выделении доминантной задачи, упрощается алгоритм менее доминантной задачи (Душков, Королев, Смирнов, 2005). Типичным для летной деятельности является совмещение двух задач — пилотирование и пространственная ориентировка (Пономаренко, 2000). При использовании систем автоматического управления летательным аппаратом и многоцелевых бортовых интерфейсов эти задачи трансформируются в задачу контроля за системой автоматического управления и задачу поддержания ситуационной осведомленности.

В экспериментальном исследовании воссоздавалась совмещенная деятельность по выполнению двух задач: выдерживание заданного режима полета (пилотирование) и поиск заданного наземного объекта. Исследование проводилось на стендовой базе Государственного научно-исследовательского института авиационных систем. Обстановка проведения экспериментов представлена на рис.1

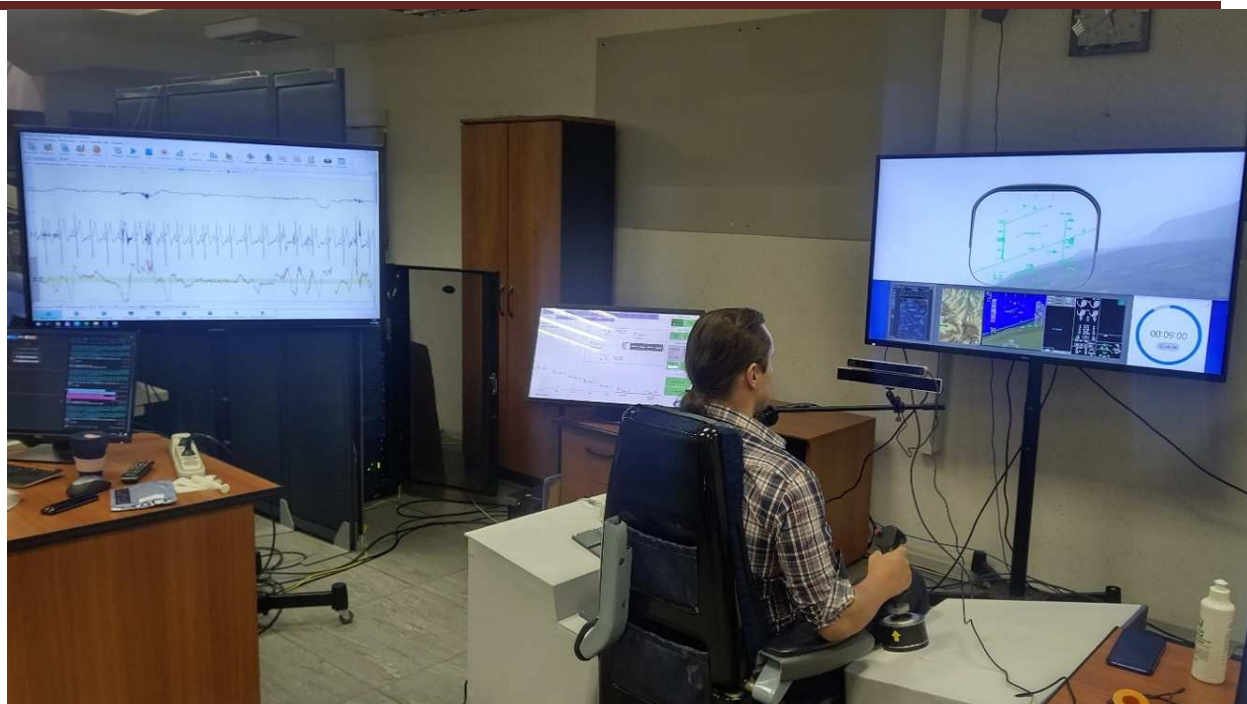


Рис. 1. Обстановка проведения экспериментального исследования

Схема полетного задания показана на рис. 2.

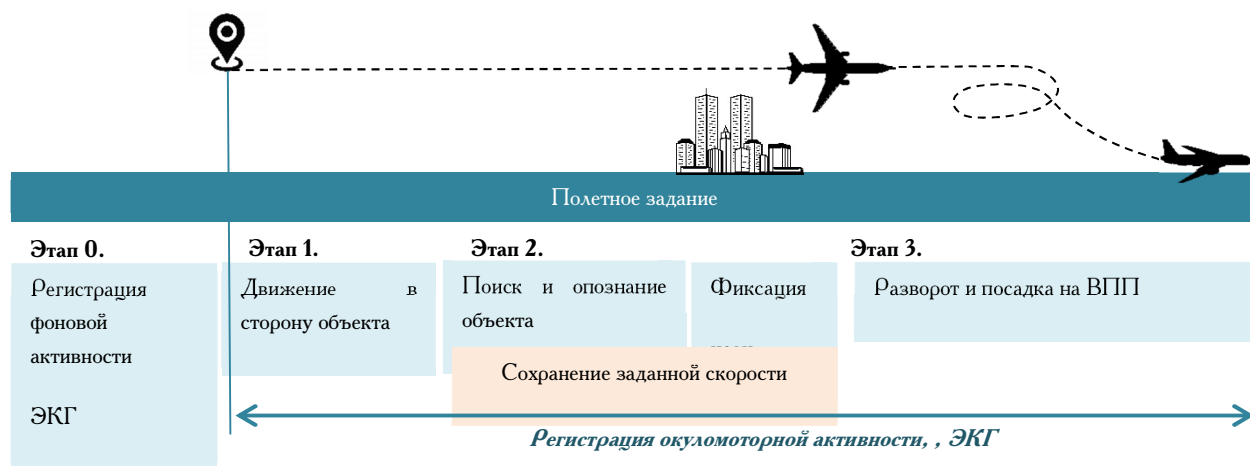


Рис.2. Полетное задание и схема эксперимента

На этапе 1 выполнялся полет в зону, в которой находился заданный наземный объект. На этапе 2 задание требовало провести поиск и опознание заданного наземного объекта одновременно с выдерживанием скорости полета в диапазоне от 200 до 220 км/ч и трижды через каждые 30 сек докладывать голосом руководителю полета текущие показания указателя скорости полета. Выполнялось 5 экспериментальных серий, в

которых использовались каждый раз разные заданные объекты поиска, находившиеся среди других сходных объектов, а также усложнялись условия полета. В серии 1 объектом поиска было красное здание прямоугольной формы слева от ВПП, второй серии — самолет Боинг-737 на ВПП, третьей серии - башня управления полетами рядом со зданием т-образной формы, в четвертой серии - железнодорожная станция аэроэкспресса с белой крышей, в пятой серии - терминал с множеством гейтов. Кроме того, экспериментальные серии различались по степени усложнения условий полета. В каждой очередной серии условия полета все более возрастали: серия 1 — фоновая, без усложнений; серия 2 — в усложненных метеоусловиях (туман); серия 3 — сочетание усложненных метеоусловий и лимита времени выполнения задания (10 минут с обратным отсчетом); серия 4 — сочетание усложненных метеоусловий, лимита времени и моделирование отказа техники (отказ левого двигателя через 30 сек после распознавания целевого объекта); серия 5 — сочетание усложненных метеоусловий, лимита времени, отказа техники и влияние измененного функционального состояния оператора (утомление). Серии эксперимента №№ 1–4 проводились для всех операторов в утренние часы, серия 5 проводилась в конце рабочего дня (17:00-18:00). Общее время эксперимента составляло 1 час.

Перед началом эксперимента в соответствии с требованиями Европейского кардиологического общества (Рабочая группа..., 1999) в течение не менее 5-минутного интервала с нагрузочной стресс-пробой проводилась фоновая регистрация показателей электрокардиограммы. Регистрация проводилась на электроэнцефалографе Нейрон-Спектр-4/П (ООО Нейрософт, Иваново) с полиграфическими каналами, частота дискретизации записи 250 Гц.

До начала эксперимента (этап 0) и перед последней, 5-ой серией проводился контроль состояния утомления операторов с помощью психофизиологического обследования с помощью методик «Критическая частота слияния мельканий» (КЧСМ), «Реакция на движущийся объект» (РДО), теппинг-тест, «Сложная сенсомоторная

реакция» (ССМР) на аппарате НС-Психотест (ООО Нейрософт, Иваново). Каждая методика включала 30 проб, в соответствии с общепринятыми требованиями из анализа и обработки данных исключались для методики РДО 3 начальных результата (Пейсахов и др., 1979), для теппинг-теста — данные за первые 5 сек. (Мантрова, 2007), первые 5-7 сигналов для методики ССМР (Балин, 2000).

В течение выполнения полетного задания проводилась регистрация окулоmotorной активности и движения взора операторов с помощью айтрекера SMI Red-M 250 Hz (SMI, Germany). Стимуляция предъявлялась на экране 55” монитора, расположенного на расстоянии 110 см от испытуемого. Установка SMI Red-M была зафиксирована на расстоянии 60-65 см от респондента, регистрация движений глаз проводилась со скоростью 250 Гц. Исследование проводилось при контроле внешних физических параметров среды, обеспечивалось единообразие освещения, температуры. Первичная статистическая обработка результатов проводилась в программном обеспечении SMI ВеGaze 3.4.

После окончания эксперимента с операторами проводилось структурированное интервью для выявления затруднений, негативных переживаний, допущенных ошибочных действий и их субъективных причин.

Операторы: 5 программистов - разработчиков пилотажных тренажеров, мужчины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели качества деятельности

В соответствии с целью исследования в данном разделе статьи рассматриваются показатели выполнения полетов на этапе 2 — поиск и опознание объекта одновременно с выдерживанием и контролем скорости полета. Данные о показателях качества выполнения задания в пяти экспериментальных сериях приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Показатели качества выполнения полетного задания

Показатели деятельности	Операторы					Итого
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
Серия 1 (фоновая)						
Поиск и опознание объекта	да	да	да	да	да	да - 5
Отклонения скорости от заданных значений (по данным 3-х замеров)	2	0	2	1	0	5
Пропуски голосовых докладов о текущей скорости (количество)	0	0	1	1	2	4
Серия 2. Ухудшение метеоусловий						
Поиск и опознание объекта (да)	нет	да	да	нет	Нет	да - 2 нет - 3
Отклонения скорости от заданных значений (по данным 3-х замеров)	3	0	3	1	0	7
Пропуски голосовых докладов о текущей скорости (количество)	1	0	0	3	0	4
полет 3. Лимит времени						
Поиск и опознание объекта	да	да	да	да	Да	да - 5
Отклонения скорости от заданных значений (по данным 3-х замеров)	3	1	1	1	0	6
Пропуски голосовых докладов о текущей скорости (количество)	0	1	0	3	0	4
полет 4. Отказ двигателя						
Поиск и опознание объекта	да	нет	да	да	Да	да - 4 нет - 1
Отклонения скорости от заданных значений (по данным 3-х замеров)	1	0	0	1	1	3
Пропуски голосовых докладов о текущей скорости (количество)	3	0	1	1	1	6
полет 5. утомление						
Поиск и опознание объекта	да	да	да	да	Да	да - 5
Отклонения скорости от заданных значений (по данным 3-х замеров)	2	1	1	1	0	5
Пропуски голосовых докладов о текущей скорости (количество)	0	1	1	1	1	4

Согласно суммарным данным по всем 5-и сериям, заданный объект не был обнаружен в 4 случаях из 25-и возможных (16 %), количество случаев отклонений скорости полета от заданных значений составило 27 из 75 замеров (36%), количество пропусков голосового доклада – 22 из 75 возможных (29%). В относительных

единицах (%) показатель пропуска действий, требуемых в задача поиска и опознания заданного объекта, был в 1,8–2,2 раза меньше, чем в задаче выдерживания и контроля скорости полета. Можно полагать, что это различие связано с более высоким приоритетом для операторов задачи поиска и опознания объекта, чем выдерживания и контроля скорости полета. В серии 1 совмещенная деятельность при выполнении полетного задания в условиях хорошей видимости не сказывалось на результативности опознания объекта (100%), но проявлялось в снижении качества выполнения задачи выдерживания скорости в заданном диапазоне и голосовых докладах о её текущих значениях. В серии 2 (Ухудшение метеоусловий) отмечено выраженное снижение надежности поиска и опознания заданного объекта (из 5-и операторов объект был опознан только двумя операторами), а также на выдерживание заданной скорости и количестве пропусков голосовых докладов. Остальные усложняющие факторы (лимитирование времени, отказ двигателя, утомление) практически не повлияли на надежность поиска и опознания объекта и существенно в меньшей степени негативно сказывались на показатели выдерживания скорости полета и количестве пропусков голосовых докладов о её текущих значениях.

Результаты интервью с операторами позволили выявить наиболее часто встречающиеся ответы. Все операторы назвали наиболее сложным второй полет (серия 2) в ухудшенных метеоусловиях. Кроме того, все оператора отметили невысокую информативность интерфейса по сравнению с «живой» внекабинной обстановкой, а 3 оператора указали на затруднения восприятия информации, отображаемой на интерфейсе. Самым простым операторы назвали выполнение полетного задания в условиях лимита времени, поскольку отведенных 10 минут было достаточно для выполнения обеих задач. Особо выделим высказывания операторов о недостатках отображения на интерфейсе параметра скорости. Приведем некоторые из них:

- «Неудобно контролировать скорость по дисплею, он расположен далеко»;
- «Трудно следить за скоростью на дисплее синтезированного видения»;

– «Неинформативность индикации скорости в виде цифр» и др.

В качестве рекомендации один из операторов предложил «приблизить приборы друг к другу».

Показатели состояния утомления.

Сравнительные оценки показателей утомления операторов утром до начала исследования и перед заключительной 5-ой серией в 17-18 часов не выявили признаков утомления у всех операторов — результаты по всем экспресс-методикам оказались в пределах нормы. Также не было уставлено достоверных различий по теппинг-тесту, отражающему изменения работоспособности под действием утомления и нагрузки. Вместе с тем, сравнительный анализ (Т-критерий Вилкоксона для парных сравнений) показал достоверные статистические различия между показателями утомления первого и второго тестирования по отдельным методикам некоторых операторов, что свидетельствующие о развитии у них определенных признаков утомления к концу рабочего дня. По результативным показателям (среднее время реакции и ошибки) различия в начале и в конце рабочего дня незначительны, напротив, для некоторым операторов отмечалась мобилизация и улучшение результативных показателей полетного задания.

Достоверные различия для всех операторов установлены только по методике «Критическая частота слияния мельканий» (КЧСМ). Это указывает на развитие к 17-18 часам выраженного утомления зрительного анализатора. О развитии зрительного утомления свидетельствовали также изменения количества морганий ($F(5, 1407)=5,36$; $p<0,001$; $\eta^2=0,11$) в заключительной пятой серии - под влиянием зрительного утомления достоверно увеличивалось количество морганий по сравнению с предыдущими сериями, которые по данному показателю не отличались между собой.

Общая характеристика психической нагрузки.

Уровень психического напряжения оценивался по совокупности показателей. Использовался показатель диаметра зрачка как маркер когнитивной нагрузки,

вариабельность сердечного ритма для диагностики операционального напряжения. Запись проводилась в соответствии с международным стандартом — количество кардиоциклов не менее 500 для фонового замера и каждой серии, фильтр артефактов, кардиоритмограммы должны содержать менее 5% артефактов (Рабочая группа..., 1999; Бокерия и др., 2009). В связи с короткими временными замерами в исследовании использовались статистические и спектральные методы анализа вариабельности сердечного ритма.

Анализ вариабельности. Меры центральной тенденции (мода, АМо, более распространенный в зарубежных исследованиях RRNN) находятся у операторов в пределах нормы, за исключением оператора №4. SDNN в качестве показателя высокочастотных колебаний в структуре ВСР в данном эксперименте использовать представлялось некорректным ввиду разной длительности временных интервалов исследования (Бокерия и др., 2009). Поэтому был высчитан показатель NN50 и связанный с ним показатель рNN50%. Они свидетельствуют о высокой изменчивости ВСР в течение каждой экспериментальной серии. Данные сходны для всех респондентов.

Оценка степени напряжения регуляторных систем по индексам Р.М. Баевского (1999), в частности, высокие значения по индексу ИН и АМо, свидетельствуют об усилении симпатической регуляции. В пределах нормы показания индексов были только у оператора №4, остальные операторы подвержены существенному операциональному напряжению при выполнении экспериментальных полетов. Даже при выполнении полетного задания в незатрудненных условиях (полет №1), отмечалось существенное повышение функционального напряжения механизмов адаптации в терминологии Р.М. Баевского.

Вегетативный баланс. Анализ спектральных компонентов ВСР (индекс ИВБ - соотношение LF/HF, спектральный анализ частот, преобразование Фурье), показал, что в целом общий баланс симпатической и парасимпатической активации для всех

респондентов находится в пределах нормы. Однако индекс ИВР, также отражающий соотношение между симпатической и парасимпатической активацией, оказался более чувствителен и показал существенное увеличение симпатической активации. Максимум симпатической активации приходится на выполнение 2, 3 и 4 полетов, после этого напряжение постепенно уменьшается. Показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР) также отражал рост симпатической активации ритма сердца с максимумом на второй-третьей серии эксперимента.

Оценка когнитивной нагрузки. В связи со значительной инертностью изменения диаметра зрачка (свыше 800 мс после начала фиксации), задача исследования состояла в оценке когнитивной нагрузки в целом по выполнении полетных заданий в различных условиях и при выполнении отдельных этапов полетного задания. Усложняющие факторы полета и этап полета оказывают сопоставимое влияние ($F = 155,5; p < 0,00; F = 153,8; p < 0,00$). Кроме того, установлено совместное влияние обоих факторов на диаметр зрачка ($F = 13,0; p < 0,00$). Наименьший диаметр зрачка, свидетельствующий о наиболее высокой когнитивной нагрузке, регистрировался при выполнении совмещенной деятельности поиска заданного объекта с необходимостью выдерживать заданную скорость полета. Изменения диаметра зрачка от первой к пятой экспериментальной серии отражали постепенное нарастание нагрузки под влиянием усложняющих факторов и их сочетания (рис.3). Максимальный уровень нагрузки отмечается в пятой серии, выполняемой под влиянием утомления оператора ($F(14, 7014) = 107,71; p < 0,00; \eta^2 = 0,18$).

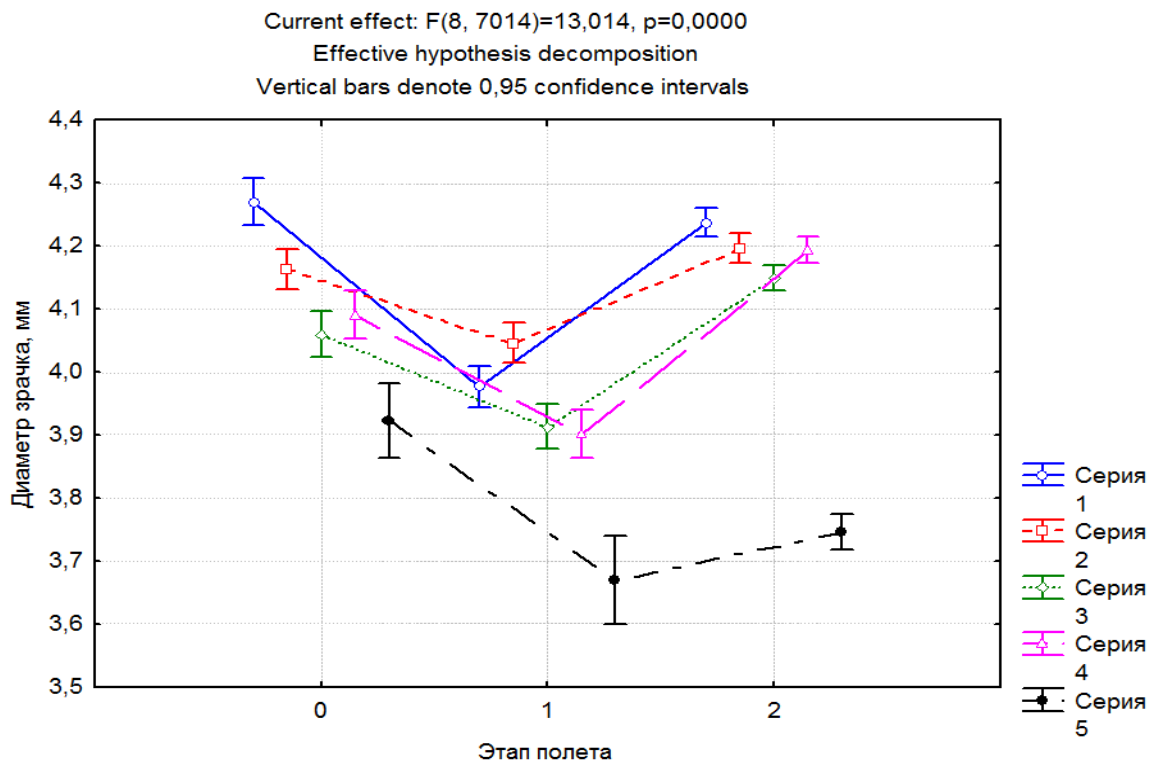


Рис. 3. Вариативность диаметра зрачка на разных этапах полетного задания и в разных сериях эксперимента

Таким образом, оценка операционального психического напряжения по показателям варибельности сердечного ритма показала для всех операторов существенное повышение нагрузки по сравнению с фоновым замером. Максимум нагрузки приходился на выполнение задания в 2-ой и 3-ей сериях, затем отмечается снижение симпатической активации. Наибольшую чувствительность к оценке уровня операционального психического напряжения в процессе деятельности имели показатели варибельности сердечного ритма по Р.М.Баевскому (ИН, ПАПР, ИВР), в отличие от спектральных характеристик, не дифференцирующих соотношение парасимпатической и симпатической активации. Их совместное применение позволило дифференцировать состояние оператора, Например, максимум психического стресса (напряжения) отмечался во втором-третьем полете, но в пятом полете отмечалось снижение симпатической активации, что проявляется в снижении индексов ИН и ИВР. Однако именно пятый полет сопровождается максимальной когнитивной нагрузкой в силу

развившегося зрительного утомления. Подобное изменение функционального состояния оператора создает минимум две ситуации для актуализации психологических и эргономических уязвимостей: при повышенном стрессовом фоне и при развитии утомления.

Общая характеристика оculoмоторной активности

Для детального исследования характера распределения внимания операторов в процессе выполнения полетного задания и выявления психологических уязвимостей, связанных с восприятием, когнитивной переработкой зрительной информации и показателями внимания, был проведен анализ результатов показателей оculoмоторной активности.

Первой задачей при обработке полученных результатов оculoмоторной активности было решение проблемы определения длительности минимальной фиксации. Поскольку было обнаружено значительное количество сверхкоротких фиксаций (до 90 мс) — корректировочных фиксаций в терминологии Б.М.Величковского (Величковский и др., 2013) — минимальная длительность фиксации была задана на уровне 50 мс. График распределения длительности фиксаций и амплитуд саккад приведен на рис.4.

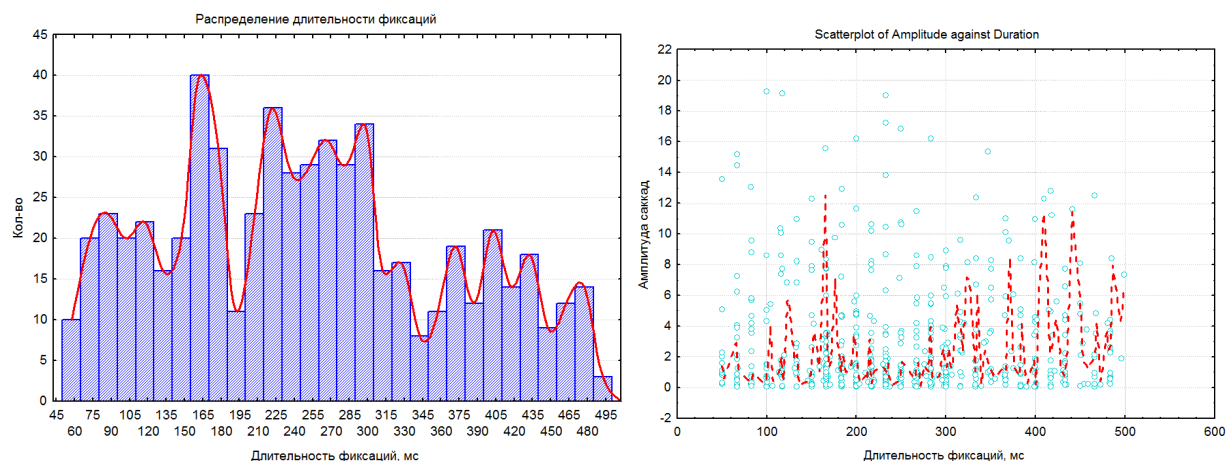


Рис. 4. Длительность фиксаций и зависимость амплитуды саккад от длительности фиксаций

Длительность фиксаций имеет полимодальное распределение с выделением 4 групп:

1. Сверхкоротких корректировочных фиксации до 90 мс ($M=66\pm 26,9$; 10,5%) и коротких фиксации от 90 до 140 мс ($M=116\pm 13,7$; 10,3%), обусловленных необходимостью многочисленных переключений внимания и связанных с амбьетным восприятием, требующим быстрой ориентировки. Поскольку в процессе обоих типов фиксации не происходит идентификации объектов (по: Величковский и др., 2013), они были объединены в одну группу;
2. Предфокальных фиксации 140-200 мс ($M=169\pm 15,7$; 13,6%);
3. Фокальных в диапазоне 200-350 мс ($M=269\pm 39,5$; 24,1%);
4. Сверхдлительных фиксации свыше 350 мс с максимальным количеством в диапазоне 380-440 мс ($M=417,6\pm 39,0$; 24,9%).

Амплитуда саккад распределилась на три большие группы: низкоамплитудные саккады (до 1,5 град., их частота составила 55%), средней амплитуды (3,5-4,5 град., соответствующие парафовеальной области – 12%), и высокоамплитудные саккады (от 7,5 град – 10%).

Наибольший интерес для выявления психологических уязвимостей, связанных с распределением внимания оператора и точностью считывания приборной информации, для нас представляют фокальные фиксации. Относительно длительные фиксации, 200-350 мс, могут считаться фокальными, связанными с вниманием и сознательной переработкой зрительной информации (там же). Сравнив распределение обоих графиков на рис. 6, видно, что в отличие от остальных групп, фокальные фиксации характеризуются минимальной амплитудой саккад.

Сравнительный анализ средней длительности фиксации и амплитуды саккад суммарно по сериям эксперимента подтвердил достоверные различия в изменении стратегии обработки когнитивной информации под влиянием усложняющих факторов полета. При введении усложняющих условий полета значимо снижается средняя длительность фиксации ($F(4, 14332)=34,26$; $p<0,00$; $\eta^2=0,27$), возрастает амплитуда саккад ($F(4, 13995)=14,57$; $p<0,00$; $\eta^2=0,28$) (рис.5).

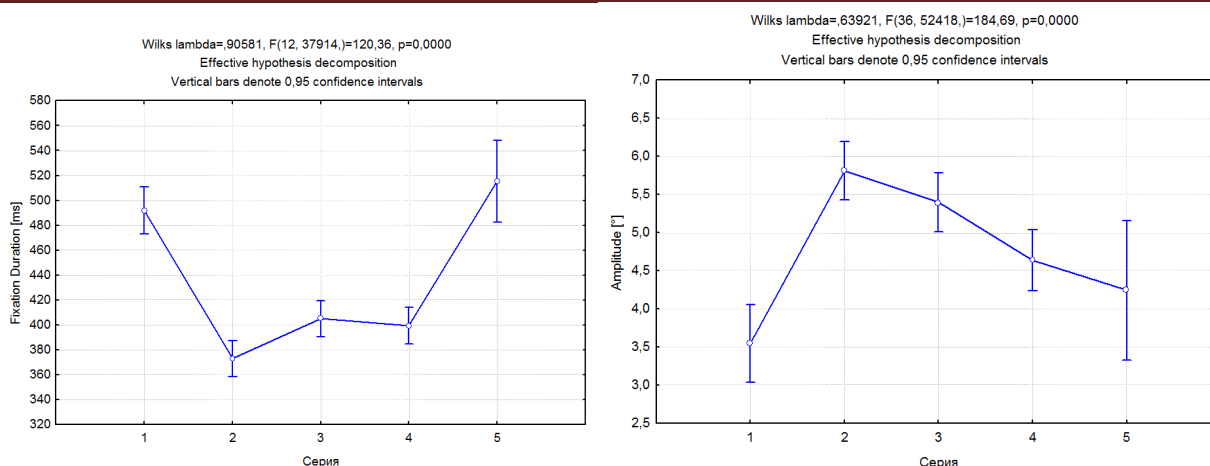


Рис. 5. Средняя длительность фиксации и амплитуда саккад в 1-5 сериях эксперимента

В пятой серии при выполнении полетного задания в условиях утомления отмечается максимальная индивидуальная вариативность длительности фиксации и амплитуды саккад. По всей видимости, возросшая вариативность связана с индивидуальной реакцией на утомление, для оценки влияния эффекта утомления необходимы более детальные исследования.

Под влиянием усложняющих факторов (экспериментальные серия 2-5) происходит изменение стратегии переработки зрительной информации, соотношения амбьентных/фокальных фиксаций смещается в сторону повышения количества как коротких ориентировочных фиксаций, так и фиксаций средней длительности. Происходящие изменения связаны с активизацией зрительного поиска в условиях усложненной обстановки.

Выявленные увеличения количества фокальных фиксаций максимально проявлены во второй серии эксперимента. В дальнейшем, несмотря на суммарное усложнение и введение дополнительных усложняющих факторов (серия 2 «сложные метеоусловия» серия 3 «сложные метеоусловия + лимит времени», серия 4 «сложные метеоусловия + лимит времени + отказ техники», серия 5 «сложные метеоусловия + лимит времени + отказ техники + утомление»), мобилизующий «эффект второй серии» постепенно сходит на нет. Операторы адаптируются к дополнительным факторам сложности: отсутствуют

статистически достоверные различия между сериями 3 и 4 по длительности фиксации ($F(1, 7526)=0.36, p<0,54; \eta^2=0,07$).

Несмотря на то, что оценка окуломоторной активности под влиянием зрительного утомления не являлась задачей исследования, необходимо подчеркнуть изменения, происходящие в серии 5. Под влиянием зрительного утомления вновь увеличивается количество низкоамплитудных саккад, расширяется диапазон сверхкоротких «корректировочных» фиксаций и сверхдлинных фиксаций. Поскольку первые являются фиксациями корректировочными либо ориентировочными, в процессе них не происходит фиксация объектов, они направлены на сканирование обстановки и точность позиционирования взгляда (Величковский и др., 2013). При сверхдлинных фиксациях происходит либо удлинение когнитивной переработки зрительной информации, либо удлинение фиксации свидетельствует о сбое или задержке передачи зрительной информации в первичную соматосенсорную кору из-за зрительного утомления (Akagi et al., 2022). В любом случае, процент фокальных фиксаций средней длительности снижается, что может отражаться в ухудшении считывания информации. Снижается также доля высокоамплитудных саккад, связанных с ориентацией и переключением внимания с внекабинной обстановки на приборы, что может отражаться в риске ухудшения ситуационной осведомленности.

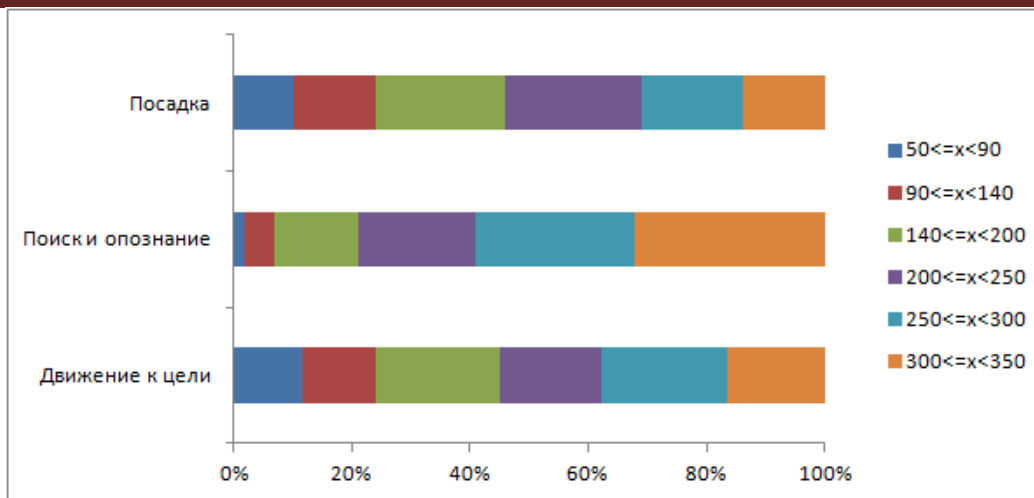
В связи с большим разнообразием длительности саккад и различными когнитивными процессами, стоящими за саккадами разной длительности, вместо обобщенной обработки результатов по всей длительности полетного задания для повышения точности был проведен сравнительный анализ стратегий поисковой активности не только по сериям, но и по отдельным этапам полета. Сравнительный дисперсионный анализ подтверждает достоверные различия длительности фиксаций как в зависимости от серий эксперимента ($F(4, 355157)=25,07; p<0,00; \eta^2=0,09$), так и от этапов полетного задания ($F(4, 355157)=20,56; p<0,00; \eta^2=0,08$). Кроме того, установлен выраженный совместный эффект этих факторов ($F=4316,5; p<0,00$). На

длительность фиксации, как и ожидалось, усложнение условий выполнения задания оказывает влияние на любом этапе полета. На этапе движения и маневрирования это влияние статистически достоверно, но минимально ($F(3, 14332)=6,45; p<0,001; \eta^2=0,01$), а при выполнении совмещенной деятельности и посадки максимально ($F(3, 14332)=103,44; p<0,00; \eta^2=0,08$).

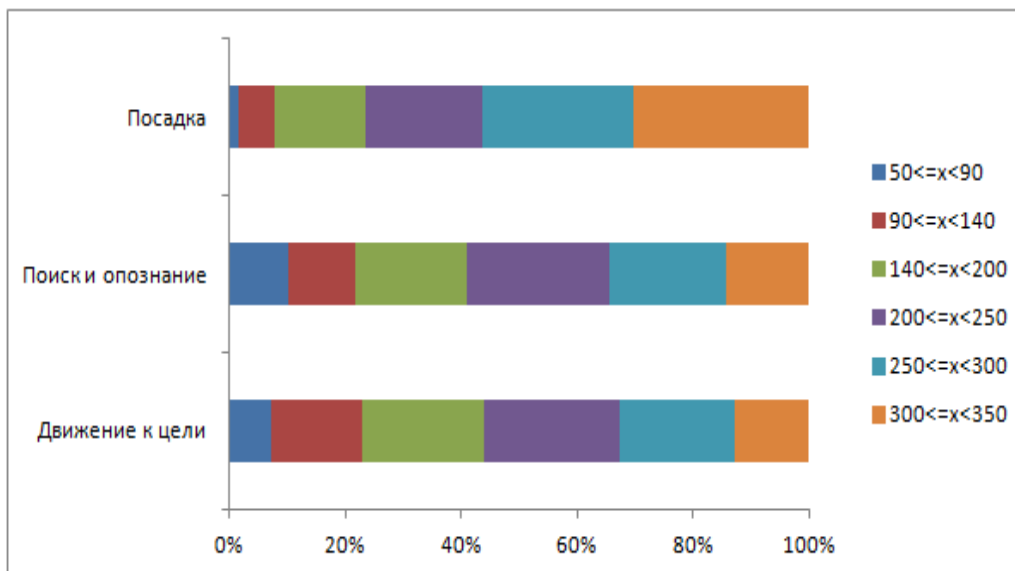
При выполнении полетного задания без усложняющих условий распределение длительности фиксации сопровождается сокращением коротких и сверхкоротких фиксаций и увеличением количества фокальных и длинных фиксаций при совмещенной деятельности «поиск и опознание»+«контроль скорости». Такая стратегия обработки зрительной информации обеспечивает максимальное внимание к поиску и сличению ориентиров с заданным объектом, считыванию показаний приборов, поддержанию ситуационной осведомленности.

При введении усложняющих факторов полета на этапе выполнения совмещенной деятельности мы провоцируем операторов переключать внимание между задачами, что отражается в недостаточном увеличении количества фокальных фиксаций (рис. 6, второй график). В отличие от полета в обычных метеоусловиях, вынужденное переключение внимания сопровождается возрастанием количества сверхкоротких фиксаций, т.е. отмечается сниженная точность позиционирования взора. Задачей дальнейшего исследования может стать анализ причин: влияние ли это эргономических недостатков приборов, не обеспечивающих необходимую контрастность и информативность, либо же влияние сенсорной (зрительной) нагрузки. Тем не менее, диагностировано провоцирующее совместное влияние совмещенной деятельности и внешних затрудняющих факторов полета для появления уязвимости в точности и распределении внимания оператора.

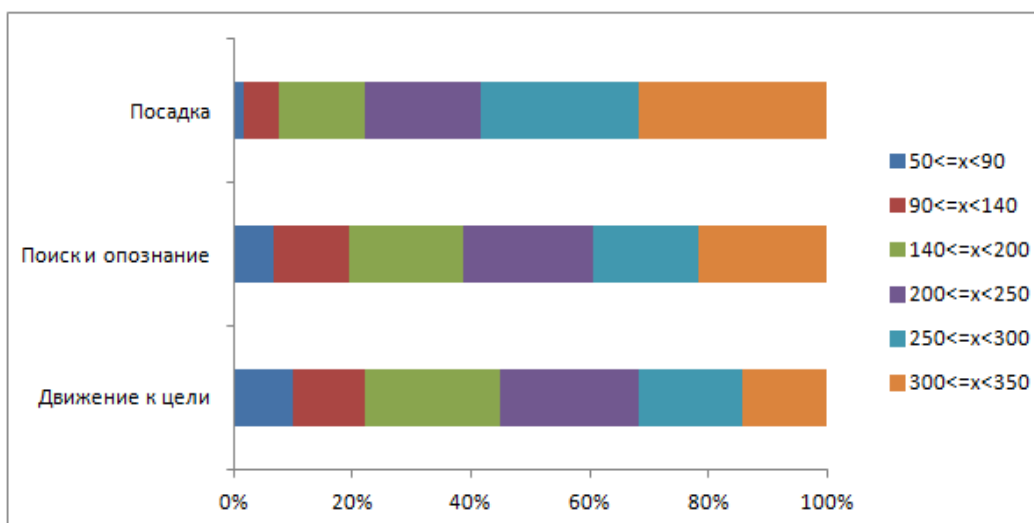
Характерно, что на этапе посадки влияние различных усложняющих факторов полета сказывается сходным, мобилизующим образом - возрастает доля фокальных и длинных фиксаций (рис. 6, второй и третий график).



(1)



(2)



(3)

Рис.6. Распределение длительности фиксаций на разных этапах выполнения полетного задания при полете в нормальных условиях (1), при ухудшении метеоусловий(2) и лимите времени (3).

Еще одним результатом исследования является факт адаптации операторов к усложняющим факторам полета. Их наиболее негативный эффект сказывается во второй серии эксперимента, при внезапном появлении усложняющего фактора. Однако, начиная с третьей серии и далее, несмотря на суммацию усложняющих факторов, операторы адаптируются к сложным условиям осуществления полетного задания. Восстанавливаются результативные показатели деятельности (табл.1) и вновь возрастает доля фокальных фиксаций.

Распределение внимания по элементам интерфейса

Моделируя в эксперименте влияние фактора совмещенной деятельности на распределение внимания и проявление эргономических уязвимостей интерфейса, наибольший интерес для нас представляло распределение внимания при выполнении именно этого этапа полетного задания и переключение внимания с показаний скорости на индикацию окружающей обстановку для поиска заданных целевых ориентиров.

Индикация управляющей панели была размечена с выделением зон интереса (AreaofInterest, AOI – рис. 7). Особое внимание для нас представляли суммарные показатели внимания по зоне 013 (суммарно вся пилотажно-навигационная индикация, наложенная на окружающую обстановку), зоне liveview (собственно индикация окружающей внекабинной обстановки) и зоне 007 (приборная скорость), а в серии эксперимента с лимитированием времени выполнения — зона 005 с таймером обратного отсчета времени.

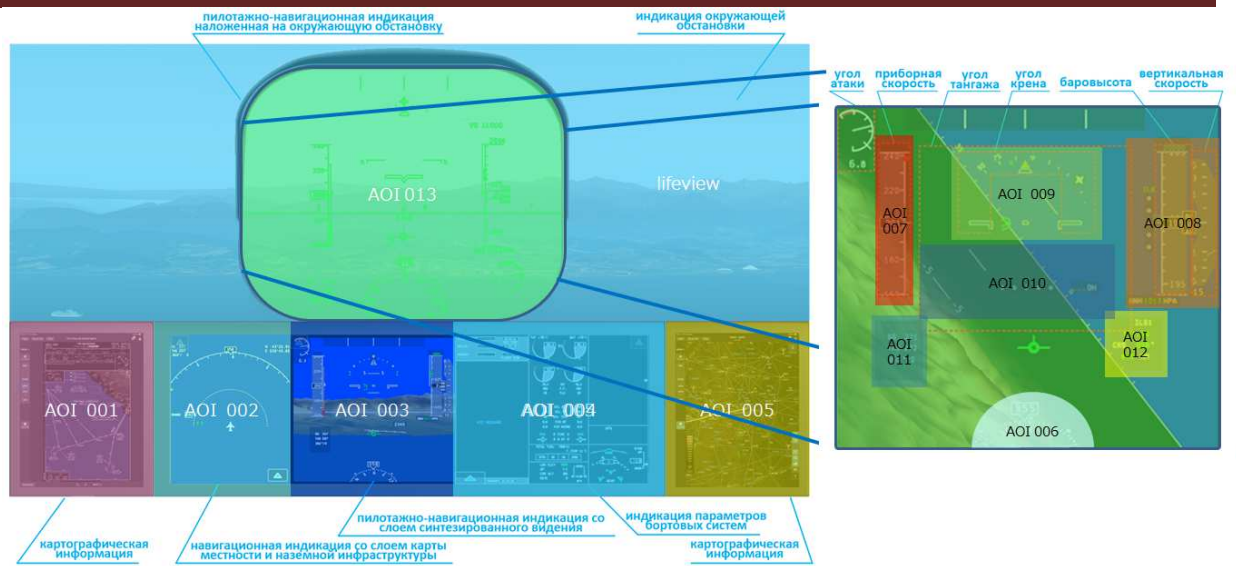


Рис. 7. Расположение приборов и размеченные «зоны интереса» (AreaofInterest, AOI).

Кардинально меняется последовательность перемещения и матрицы перехода взгляда по элементам интерфейса в зависимости от условий задания. На рис. 9 для сравнения представлено количество фиксаций по зонам интереса при полете в незатрудненных условиях (серия 1) и при полете в ухудшенных метеоусловиях (серия 2).

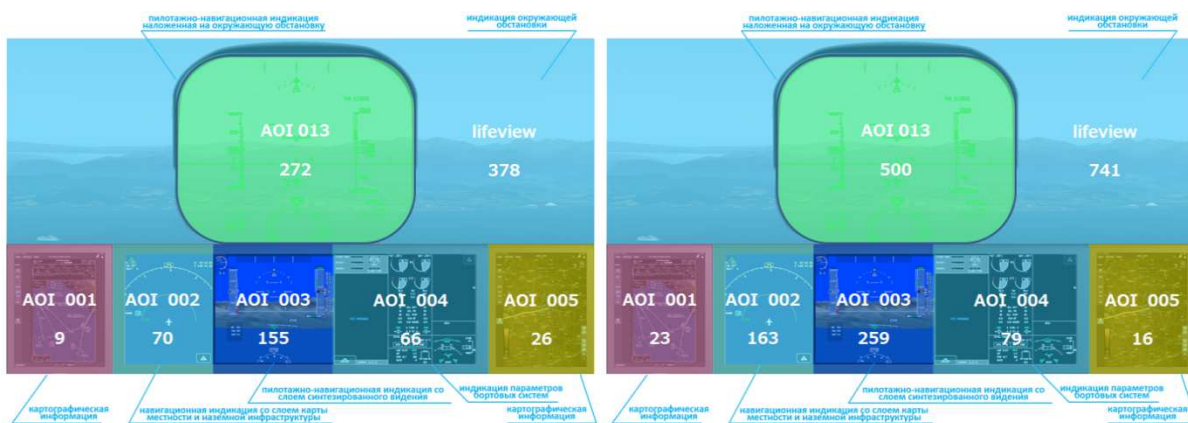


Рис. 8. Количество фиксаций по зонам при полете в неусложненных условиях и при ухудшении метеоусловий.

При сопоставимом времени выполнения задания количество фиксаций увеличивается практически в два раза по всем зонам интереса. Полностью показатели распределения внимания по зонам интереса приведены в табл.2.

Таблица 2.

Показатели распределения внимания операторов по зонам интереса при выполнении задания в сериях 1-5

	Зоны внимания							Liveview Внекабинная обстановка
	АОИ 001	АОИ 002	АОИ 003	АОИ 004	АОИ 005 Таймер	АОИ 013 Приборы	АОИ 007 Скорость	
Серия 1								
Кол-во возвратов	4,7	41,7	87,0	38,3	16,7	84,0	40	82,7
Кол-во фиксации	9,0	69,7	154,7	66,0	26,0	271,7	57	378,3
Суммарное время пребывания [%]	0,8	6,9	20,5	5,6	1,8	34,1	10,53	44,2
Суммарная длит-ть фиксаций [%]	0,8	6,8	20,2	5,3	1,8	33,3	10,47	42,6
Серия 2								
Кол-во возвратов	10,0	73,3	97,8	33,3	8,5	131,8	34,75	125,8
Кол-во фиксации	17,0	122,0	194,0	59,0	12,3	375,0	50,75	555,5
Суммарное время пребывания [%]	1,0	10,6	17,8	3,5	1,0	33,0	7,65	46,6
Суммарная длит-ть фиксаций [%]	1,0	10,3	17,2	3,3	1,0	31,5	7,575	44,0
Серия 3								
Кол-во возвратов	8,3	80,0	91,5	29,3	15,8	131,5	60,5	117,0
Кол-во фиксации	12,5	147,8	195,0	48,0	23,3	444,5	83,25	538,8
Суммарное время пребывания [%]	0,8	15,0	16,2	3,8	1,6	37,9	10,03	46,7
Суммарная длит-ть фиксаций [%]	0,8	14,7	15,7	3,6	1,5	36,1	9,9	44,2
Серия 4								
Кол-во возвратов	10,0	115,0	144,0	53,7	23,7	170,7	39	166,3
Кол-во фиксации	13,3	212,3	264,7	90,0	36,0	512,3	57,25	624,0
Суммарное время пребывания [%]	1,0	19,2	22,9	7,7	2,7	47,4	7,3	57,7
Суммарная длит-ть фиксаций [%]	1,0	18,7	22,4	7,6	2,7	45,6	7,225	55,1
Серия 5								
Кол-во возвратов	7,5	86,3	108,0	40,3	17,8	128,0	26	124,8
Кол-во фиксации	10,0	159,3	198,5	67,5	27,0	384,3	36	468,0
Суммарное время пребывания [%]	0,8	14,4	17,2	5,8	2,1	35,6	3,6	43,3
Суммарная длит-ть фиксаций [%]	0,8	14,0	16,8	5,7	2,0	34,2	3,6	41,3

Максимальные изменения в распределении внимания отмечены при переходе от первой серии эксперимента ко второй, при первом предъявлении усложненных метеоусловий. Усложнение перцептивного поиска проявляется в росте возвратов (Revisits) и количества фиксации на зонах пилотажно-навигационной индикации, внекабинной окружающей обстановки, а также повышении внимания к навигационной индикации на карте местности, за счет снижения внимания к показаниям бортовых систем и таймеру времени. При этом рост количества фиксации не сопровождается достоверным увеличением общего времени фиксации взора на данной зоне (DwellTime), то есть фиксации сокращаются по длительности, изменяется асимметрия распределения фиксации: уменьшается доля фокальных фиксации в пользу увеличения доли амбьентных, ориентировочных фиксации. При этом внимание оператора к показаниям скорости (AOI 007) достоверно снижается. Наибольший эффект ухудшения распределения внимания оказывают сложные метеоусловия (серия 2) и утомление (серия 5).

Анализ матрица переходов (TransitionMatrix) показывает последовательность переключения внимания. В неосложненных условиях (серия 2) перемещение взора операторов внутри всей области пилотажно-навигационной индикации (AOI 013) в 20% случаев фиксируется на показаниях скорости, угле крена и в 10% переключается на зону пилотажной навигации с синтезированным видением и внекабинной обстановкой (рис.9). Внимание с показаний скорости в 40% случаев переключается обратно на суммарную навигационную индикацию.

При выполнении полета в сложных метеоусловиях количество переключений внимания в зоне суммарной навигационной индикации возрастает на 36% за счет увеличения переключений на показатели вертикальной скорости на 28%, карту местности на 18%, внекабинную обстановку на 17%). В 1,5 раза возрастает количество переключений внимания внутри зоны внекабинной обстановки и в 2 раза — с нее на

суммарную навигационную индикацию. Однако, увеличения переключений внимания с внекабинной обстановки на показания скорости и обратно не происходит.

Имеет место эффект «туннелирования внимания»: оператор нацелен на выполнение приоритетной для него задачи — поиск цели. Этот процесс сопровождается увеличением показателей распределения внимания в пределах зоны внекабинной обстановки. Вторым приоритетом становится контроль вертикальной скорости и ориентации на карте местности в затрудненных метеоусловиях.

В неосложненных условиях (серия 1)

	AOI 013	AOI 012	AOI 011	AOI 010	AOI 009	AOI 008	AOI 007	AOI 006	AOI 005	AOI 004	AOI 003	AOI 002	AOI 001	liveview
AOI 013	172,0	3,7	8,7	51,7	1,7	10,0	47,7	31,7	3,3	7,3	33,3	8,3	0,7	25,0
AOI 012	4,0	1,0	0,0	1,3	0,0	0,7	0,0	1,0	0,3	0,3	1,3	0,3	0,0	2,0
AOI 011	9,0	0,0	2,7	1,3	0,0	0,0	2,7	1,3	0,0	0,0	1,3	1,3	0,0	0,7
AOI 010	55,7	0,7	0,7	26,3	0,7	3,7	16,0	4,0	0,0	0,7	7,7	1,0	0,3	3,3
AOI 009	2,0	0,0	0,0	1,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AOI 008	10,3	0,0	0,3	3,0	0,0	2,3	1,7	1,3	0,7	0,3	1,7	0,3	0,0	2,3
AOI 007	39,0	0,0	1,3	8,7	0,3	2,0	17,0	7,0	1,0	0,7	10,7	2,3	0,0	3,3
AOI 006	35,0	1,0	2,0	6,3	0,0	0,3	8,0	13,0	0,7	3,0	9,0	1,3	0,3	3,7
AOI 005	2,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,3	0,7	8,7	6,3	3,3	1,7	0,0	4,0
AOI 004	11,7	1,3	0,0	1,0	0,0	0,3	2,3	4,0	7,0	26,7	15,7	2,7	0,0	3,7
AOI 003	33,0	0,3	3,0	8,7	0,0	3,0	5,0	10,0	3,0	15,0	71,7	23,3	1,3	5,7
AOI 002	10,3	0,7	0,7	2,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	2,7	17,7	26,7	3,7	3,3
AOI 001	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	3,0	2,7	0,3	0,3
liveview	20,3	2,0	0,3	4,3	0,3	2,0	1,3	2,7	3,3	5,3	10,3	1,7	0,0	60,3

В сложных метеоусловиях (серия 2)

	AOI 013	AOI 012	AOI 011	AOI 010	AOI 009	AOI 008	AOI 007	AOI 006	AOI 005	AOI 004	AOI 003	AOI 002	AOI 001	liveview
AOI 013	207,5	8,5	8,5	46,75	0,5	38,75	37,25	29,25	1	10	38,5	24,5	2	43,5
AOI 012	9,5	1	0	0,5	0	2,25	0	2,5	0	1,75	1,25	0,5	0	2,75
AOI 011	7,75	0,25	1,25	0,5	0	0	1,5	2	0	0,5	2	2,75	0,5	6
AOI 010	48,25	0,25	0,75	20,25	0,5	6	11,25	3,25	0,25	1,5	7,5	5	0,25	5,75
AOI 009	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
AOI 008	38,25	0,75	0	6	0	21,25	2,25	1,25	0,25	0,5	6	2	0	3
AOI 007	33,75	0,5	1,5	8,5	0	1	15,5	1,5	0	1	5	3	0	5,5
AOI 006	32,75	2	2	5,5	0	1,5	3	14,25	0	1,75	11,25	6	0,5	6
AOI 005	1,75	0	0,25	1	0	0	0	0,25	2,5	2,5	1	0,75	0	3,5
AOI 004	9,75	1,25	0,5	0,75	0	0,5	0,25	2,25	2,25	25,5	10,25	4	0	10
AOI 003	40,25	1,75	2	9	0	4,75	3	12,5	1	8	80	25,75	2	9
AOI 002	28,5	0,75	3,25	3,75	0,25	2,75	3,25	8,25	1,25	5	22,75	44	3	9,25
AOI 001	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	1,75	3,75	4,25	3,25
liveview	37	3,25	3,75	6,5	0	2,75	5,25	6,25	3,75	10	12,25	11,25	2,5	86,25

Разница между матрицами

	AOI 013	AOI 012	AOI 011	AOI 010	AOI 009	AOI 008	AOI 007	AOI 006	AOI 005	AOI 004	AOI 003	AOI 002	AOI 001	liveview
AOI 013	35,5	4,8	-0,2	-4,9	-1,2	28,8	-10,4	-2,4	-2,3	2,7	5,2	16,2	1,3	18,5
AOI 012	5,5	0,0	0,0	-0,8	0,0	1,6	0,0	1,5	-0,3	1,4	-0,1	0,2	0,0	0,8
AOI 011	-1,3	0,3	-1,4	-0,8	0,0	0,0	-1,2	0,7	0,0	0,5	0,7	1,4	0,5	5,3
AOI 010	-7,4	-0,4	0,1	-6,1	-0,2	2,3	-4,8	-0,8	0,3	0,8	-0,2	4,0	-0,1	2,4
AOI 009	-1,8	0,0	0,0	-1,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
AOI 008	27,9	0,8	-0,3	3,0	0,0	18,9	0,6	-0,1	-0,4	0,2	4,3	1,7	0,0	0,7
AOI 007	-5,3	0,5	0,2	-0,2	-0,3	-1,0	-1,5	-5,5	-1,0	0,3	-5,7	0,7	0,0	2,2
AOI 006	-2,3	1,0	0,0	-0,8	0,0	1,2	-5,0	1,3	-0,7	-1,3	2,3	4,7	0,2	2,3
AOI 005	-0,9	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,3	-0,4	-6,2	-3,8	-2,3	-0,9	0,0	-0,5
AOI 004	-1,9	-0,1	0,5	-0,3	0,0	0,2	-2,1	-1,8	-4,8	-1,2	-5,4	1,3	0,0	6,3
AOI 003	7,3	1,4	-1,0	0,3	0,0	1,8	-2,0	2,5	-2,0	-7,0	8,3	2,4	0,7	3,3
AOI 002	18,2	0,1	2,6	1,8	0,3	2,8	2,3	3,3	0,3	2,3	5,1	17,3	-0,7	5,9
AOI 001	-0,2	-0,1	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,8	1,6	2,9
liveview	16,7	1,3	3,4	2,2	-0,3	0,8	3,9	3,6	0,4	4,7	1,9	9,6	2,5	25,9

Рис. 9. Матрицы переходов взгляда (фрагмент).

Анализ длительности фиксации по отдельным зонам интереса (зонам внимания) на разных этапах полета - движении, этапе совмещенной деятельности и посадке — подтвердил наличие конкуренции внимания при выполнении совмещенной деятельности.

На рис. 10 показано, что увеличение длительности фиксации при выполнении совмещенной деятельности, особенно при дополнительном воздействии усложняющих факторов, сопровождается сокращением длительности фиксации не только по конкурирующим зонам внимания — внекабинной обстановке для поиска целей и показаний скорости — но также сокращением длительности фиксации по большинству остальных зон. Многофакторный дисперсионный анализ подтверждает, что указанный эффект является результатом совместного влияния этапа полетного задания и внешних усложняющих факторов ($F(8, 7013)=2.818, p<0.004$), при этом только фактор внешнего усложнения не имеет существенного влияния ($F(4, 7013)=0,18, p<0.79$).

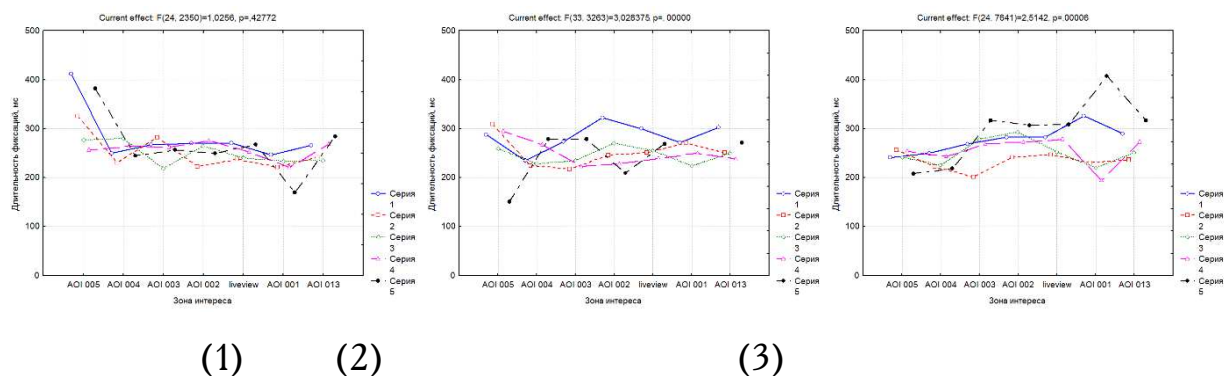
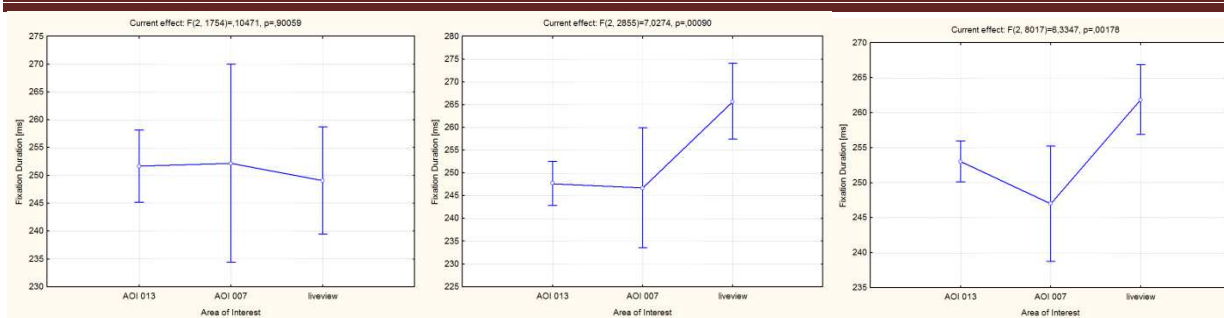


Рис. 10. Длительность фиксации на показаниях скорости, внекабинной обстановки и суммарной индикации на этапах движения к цели (1), совмещенной деятельности (2), посадки (3).

Этот эффект сокращения длительности фиксации достаточно инерционен, продолжает регистрироваться в отдельных зонах и на последующем этапе полетного задания.

На рис. 11 отражены длительности фиксации по отдельным зонам внимания (AOI 013 — суммарная навигационная индикация, AOI 007 — показания скорости, AOI Iview — внекабинная обстановка) на разных этапах полета.

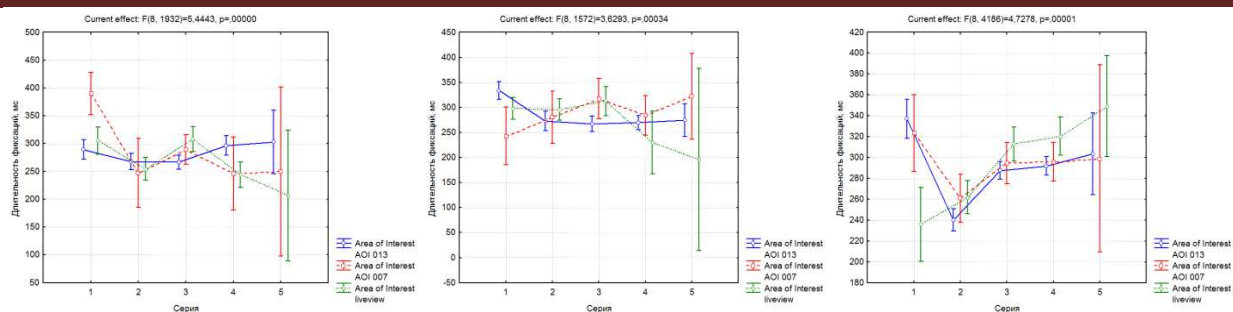


*AOI 013 – суммарная навигационная индикация,
AOI 007 – показания скорости, AOI liveview – внекабинная обстановка*

Рис. 11. Длительность фиксаций по отдельным зонам на этапах движения к цели (1), совмещённой деятельности (2) и посадки (3)

На этапе подлета к цели (рис. 11.1) внимание распределено между разными зонами интереса практически равномерно. На этапе совмещённой деятельности (рис. 11.2) происходит рост длительности фиксаций на зоне внекабинной обстановки, что отражает переключение внимания оператора на поиск наземной цели, увеличение доли фокальных фиксаций и более глубокую когнитивную обработку зрительной информации. Наблюдаемая асимметрия длительности фиксаций на зону показаний скорости и приборов в целом и зону поиска цели на местности приобретает статистически достоверные различия. Последующий этап разворота и посадки (рис. 11.3) проявляется усилением указанной тенденции: фиксации по зоне показаний скорости становятся еще короче, поскольку снимается одна из конкурирующих задач – постоянный контроль скорости.

Роль внешних усложняющих факторов в изменении когнитивных стратегий обработки информации на разных этапах полета проявляется в эффекте тренированности: первый полет в неусложненных условиях сопровождается известным эффектом снижения длительности фиксаций в зоне показаний скорости в пользу поиска наземной цели и удлинения фиксаций в зоне внекабинной обстановки (рис. 12).



Серия 1 – фоновое выполнение полетного задания, серия 2 – при ухудшении метеоусловий, серия 3 – при ухудшении метеоусловий и лимитировании времени, серия 4 – то же плюс отказ двигателя, серия 5 – то же плюс утомление оператора.

Рис. 12. Длительность фиксаций по зонам внекабинной обстановки (lifecycle), скорости (ФЦШ 007), суммарной навигационной индикации (AOI 013) на разных этапах полетного задания под воздействием усложняющих факторов полета.

При выполнении второго полета, при первом предъявлении усложняющего фактора (ухудшение метеоусловий), происходит выравнивание длительности фиксаций по всем приборам, отмечается мобилизация ресурсов внимания. Однако далее, при нарастании усложнения деятельности, отмечается конкурирующий эффект: при выполнении задания контроля скорости резко и достоверно снижается длительность фиксаций в целом по остальной навигационной индикации. Накопленный эффект наиболее проявляет себя после снятия дополнительного задания в виде контроля скорости, на последующем этапе разворота и посадки.

ВЫВОДЫ

1. Поиск эргономических и психологических уязвимостей в операторской деятельности требует воссоздания в экспериментальных условиях наиболее жестких требований деятельности к человеку-оператору и условий рабочей среды. Применительно к летной деятельности такие требования предъявляются при решении одновременно двух и более разноцелевых профессиональных задач в усложненных условиях выполнения полетного задания. Результаты проведенного исследования подтвердили обоснованность данного методического подхода к поиску указанных уязвимостей.

2. При выполнении на пилотажном стенде совмещенной деятельности, требовавшей от оператора выполнять две разноцелевые задачи — поиск и опознание заданного наземного объекта одновременно с докладами о выдерживании заданной скорости полета. Была выявлена эргономическая уязвимость пилотажного интерфейса — чрезмерная пространственная разнесенность зоны для обзора земной поверхности и зоны, в которой размещался указатель скорости полета. Пространственная разнесенность этих зон требовала от оператора постоянного переноса взора и переключения внимания. Вследствие этого операторы сосредотачивали внимание на задаче поиска и опознания заданного наземного объекта в ущерб контролю скорости полета, что приводило к пропускам докладов (в 29% случаев) и её отклонениям от заданных значений (в 36% случаев).
3. По данным регистрации окуломоторной активности операторов установлено, что при выполнении совмещенной деятельности взор операторов сосредотачивался на зоне для обзора земной поверхности. Такое сосредоточение сопровождалось ростом длительности зрительных фиксаций этой зоны за счет сокращения длительности фиксаций в пространственно удаленной зоне интерфейса, в которой индицировался указатель скорости.
4. Показано, что в процессе выполнения совмещенной деятельности с воссозданием усложненных условий выполнения полетного задания (ухудшение метеоусловий, отказ двигателя) возрастает операциональное психическое напряжение операторов (индексы Р.М. Баевского), развивается зрительное утомление. Вследствие этого значительно возрастает когнитивная нагрузка операторов. Подобная ситуация создает предпосылки для проявлений психологических (когнитивных) уязвимостей человека-оператора.
5. Решением проблемы представления информации для эффективного выполнения совмещенной деятельности могла бы стать разработка биоадаптивных интерфейсов, обеспечивающих оперативную подстройку расположения индикаторов и шкал в

зависимости от динамики переключения взора оператора. Современные аппаратные и программные средства обеспечивают регистрацию показателей окулоmotorной активности операторов, необходимых для формирования в реальном масштабе времени рекомендаций по изменению пространственного положения индикаторов и шкал.

ЛИТЕРАТУРА

- Баевский Р.М.* Анализ variability сердечного ритма в космической медицине // Физиология человека. 2002. Т.28. №2. С.70-82.
- Балин В.Д.* Практикум по общей, экспериментальной и прикладной психологии. / Под ред.: В.Д. Балин, В.К. Гербачевский. СПб.: Изд-во «Питер», 2000.
- Бокерия Л. А., Бокерия О. Л., Волковская И. В.* Variability сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование // Анн. аритм.. 2009. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/variabelnost-serdechnogo-ritma-metody-izmereniya-interpretatsiya-klinicheskoe-ispolzovanie> (дата обращения: 07.12.2022).
- Величковский Б.Б., Румянцев М.А., Морозов М.А.* Новый подход к проблеме «прикосновения Мидаса»: идентификация зрительных команд на основе выделения фокальных фиксаций // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2013. №3. С.33-45.
- Голиков Ю.Я.* Неопределенность и риски традиционных и новых областей высоких технологий и актуальные психологические проблемы их развития / Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Выпуск 8 / Под ред. А.А. Обознова, А.Л. Журавлева. М.: Издательство «Институт психологии РАН», 2018. С. 11-29.
- Желтов С.Ю.* Человек-машина-интерфейс: эволюция кабины / Выступление на заседании Президиума РАН, посвященного приоритетам развития авиационной науки - 23 октября 2018 г. URL: <http://www.ras.ru/> (дата обращения: 07.12.2022).
- Ломов Б.Ф.* Человек и техника М.: «Советское радио», 1966.
- Мантрова И.Н.* Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике. НСФТ 010999.001 МУ. ООО Нейрософт (Россия, Иваново), 2007.

- Матюхин В.В., Шардакова Э.Ф., Ямпольская Е.Г., Елизарова В.В.* Обоснование физиолого-эргономических мероприятий по снижению развития зрительного утомления при работе с видеодисплейными терминалами // Анализ риска здоровью. 2017. №3. С. 66-75. DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.08
- Махтингер А.И., Рундальцева Н.Н.* О МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО УТОМЛЕНИЯ У ДЕТЕЙ // Гигиена и санитария. 1964. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodike-issledovaniya-zritelnogo-utomleniya-u-detey> (дата обращения: 29.11.2022).
- Обознов А.А., Занковский А.Н., Бессонова Ю.В.* Понятие эргономической уязвимости человеко-машинных интерфейсов // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2020. Т.5., №2, С.112-123. DOI: <https://doi.org/10.38098/iran.opwr.2020.15.2.006>
- Пейсахов Н.М., Кашин А.П., Баранов Г.Г., Вагапов Р.Г.* Методы и портативная аппаратура для исследования индивидуально-психологических различий человека / Под ред. В.М.Шадрина. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1976.
- Полевщиков М.М., Дорогова Ю.А., Роженцов В.В.* Оценка реакции на движущийся объект // Образовательный вестник «Сознание». 2017. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-reaktsii-na-dvizhuschiysya-obekt> (дата обращения: 27.11.2022).
- Полевщиков М.М., Роженцов В.В., Палагина Н.И.* Вопросы достоверности оценки теста РДО. // Сибирский педагогический журнал. 2009. №7. С.357-367. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-dostovernosti-otsenki-testa-rdo> (дата обращения: 27.11.2022).
- Рабочая группа Европейского Кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования // Вестник аритмологии. 1999. № 11. С. 53-78.
- Устыменко О.Н., Полевщиков М.М., Роженцов В.В.* Оценка результатов тестирования реакции на движущийся объект // Современные проблемы науки и образования. 2017. №5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26986> (дата обращения: 27.11.2022).
- Харитонов В.В., Серёгин С.Ф.* Эргономические недостатки кабин самолетов как факторы риска безопасности полетов // Вопросы безопасности. 2017, №5. С. 1-11. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=21604. дата обращения 12.03.2020. DOI: 10.25136/2409-7543.2017.5.21604

Akagi R., Sato H., Hirayama T., Hirata K., Kokubu M., Ando S. Effects of three-dimension movie visual fatigue on cognitive performance and brain activity. // *Front. Hum. Neurosci.* 2022. 16:974406. DOI: 10.3389/fnhum.2022.974406

Bessonova Yu. V. Psychological Vulnerabilities of Remote Working Interaction // *Modern Psychology Scientific Bulletin.* 2022, 1 (10). 31-39. DOI: <https://doi.org/10.46991/SBMP/2022.5.1.031>

Статья поступила в редакцию: 03.12.2022. Статья опубликована: 24.12.2022.

METHOD FOR FINDING ERGONOMIC AND PSYCHOLOGICAL VULNERABILITIES IN HUMAN-INTERFACE INTERACTION

© 2022 Vladislav V. Kosyanchuk^{*}, Yulia V. Bessonova^{**},
Alexander A. Oboznov^{***}, Anatoliy N. Zankovskiy^{****}, Ivan I. Greshnikov^{*****},
Innokentiy A. Makhortov^{*****}

** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy General Director, the Federal Administrative Department "State Research Institute of Aviation Systems", Moscow, Russia;
e-mail: vvk@gosniias.ru*

*** - Ph.D., Senior Researcher; Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: bessonovajv@ipran.ru*

**** - Doctor of psychology, professor, principal researcher, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: aao46@mail.ru*

***** - Head of the laboratory, doctor of psychology, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: grid-leader@mail.ru*

****** - Head of Sector, Federal Autonomous Institution "State Research Institute of Aviation Systems", Moscow, Russia;
e-mail: iigreshnikov@2100.gosniias.ru*

***** - *Engineer, Federal Autonomous Institution "State Research Institute of Aviation Systems", Moscow, Russia;*
e-mail: iamahortov@2100.gosniias.ru

Interest in the study is an insufficient methodological base of inconsistencies detection between the information presentation on interfaces and the human operator capabilities in perception and decision making. The concepts of ergonomic vulnerabilities of interface and psychological vulnerabilities of the human operator are introduced to explain the inconsistencies. The purpose of the study is to experimentally testing the searching for ergonomic and psychological vulnerabilities in the human-interface interaction in the using a flight simulator. Research hypothesis: ergonomic and psychological vulnerabilities are revealed influenced by complications in human-interface interaction. Respondents: 5 experienced operators who had high skills in flight simulator usage. The study was carried out on the base of the Federal Administrative Department "State Research Institute of Aviation Systems" (Moscow). The flight task includes two tasks simultaneously – searching and detecting ground target object and the speed checking. Each operator performs the task five times. Task #1 is a background without complications, task #2 is a flight in complicated meteorological conditions. Further, the next tasks is carried out with increased complications: task #3 includes a time limitation (10 minutes with a countdown) in addition to weather, task #4 - the failure of the left engine, and task #5 performs under the altered functional state of the operator (fatigue). The tasks #1-4 are present during the morning, task #5 - at the end of the working day (17:00-18:00). The total time of the experiment is about one hour. Research methods: The indicators of the search and identification reliability are the number of correct identifications; speed validity check is its measurements in speed limits and voice reports (3 reports for each task). In the process of performing flight tasks, The oculomotorics and gaze movements are recorded using eyetracker SMI Red-M 250 Hz (SMI, Germany). The functional state of the operators measures by the critical flicker frequency, moving target reaction, tapping test, complex sensomotor reaction, recorded with the electroencephalograph Neuron-Spectrum-4/P. After the end of experiment, a structured interview is used to identify difficulties, errors and its causes, according to respondents. Results: The ground target is correctly detected in 84% of cases. The non-detection is found during task #2 performance. The speed limits keep correctly in 63% of cases, and the number of voice reports about the current speed is 83% (13 reports are missed). According to the interviews, the operators choose the task of searching and detecting a ground target as a priority task, speed limits keeping is executed less frequently because speed checking requires gaze shift to another, spatially remote area of the interface. Thus, the interview makes it easier to get a number of ergonomic problems associated with insufficiently informative indication and automation its reporting. These problems are especially pronounced at the combining activity. The added complication of flight is a cause the transition of ergonomic vulnerabilities that were laid at the design stage and psychological vulnerabilities associated with

distribution of attention from a state of potentiality to that of actuality. The results of the interviews coincided with the data on the oculomotorics: attention is focused on the task of searching and detection a target to the detriment of the task of speed checking, in carrying out combining activity. At the same time, the higher priority task execution is accompanied by increased fixations duration due to a reduction in fixations duration to a spatially remote interface area, in which the speed indicator is displayed. The main result of the study is the experimental confirmation of the method of finding ergonomic and psychological vulnerabilities in the human-interface interaction through targeted provoking influences. The impact of combining activity (detection of a ground target and speed checking simultaneously) make possible to find the ergonomic vulnerability of the studied interface - excessive spatial diversity of the zone for searching targets.

Key words: ergonomic vulnerabilities, psychological vulnerabilities, human-machine interface, human operator, combining activity.

REFERENCES

- Bayevskiy, R.M. (2002). Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma v kosmicheskoy meditsine [Analysis of heart rate variability in space medicine]. *Fiziologiya cheloveka*, 28, 2, 70-82. (in Russian).
- Balin, V.D. (2000). Praktikum po obshchey, eksperimental'noy i prikladnoy psikhologii [Workshop on general, experimental and applied psychology]. V.D. Balin, V.K. Gerbachevskiy (Eds.). Saint Petersburg: «Piter» Publishing House. (in Russian).
- Bokeriya, L.A., Bokeriya, O.L., & Volkovskaya, I.V. (2009). Variabel'nost' serdechnogo ritma: metody izmereniya, interpretatsiya, klinicheskoye ispol'zovaniye [Heart rate variability: measurement methods, interpretation, clinical use]. *Ann. aritm.*, 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/variabelnost-serdechnogo-ritma-metody-izmereniya-interpretatsiya-klinicheskoe-ispolzovanie> (accessed: 07.12.2022) (in Russian).
- Velichkovskiy, B.B., Rummyantsev, M.A, & Morozov, M.A. (2013). Novyy podkhod k probleme «prikosnoveniya Midasa»: identifikatsiya zritel'nykh komand na osnove vydeleniya fokal'nykh fiksatsiy [A new approach to the problem of the “Midas touch”: identification of visual commands based on the selection of focal fixations.]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya*, 3, 33-45. (in Russian).
- Golikov, Yu.Ya. (2018). Neopredelennost' i riski traditsionnykh i novykh oblastey vysokikh tekhnologiy i aktual'nyye psikhologicheskiye problemy ikh razvitiya [Uncertainty and risks of traditional and new areas of high technologies and actual psychological problems of its development]. *Aktual'nyye problemy psikhologii truda, inzhenernoy psikhologii i ergonomiki. Vypusk 8 [Actual problems of labor psychology, engineering psychology and*

- ergonomics. Issue 8*] A.A. Oboznov, A.L. Zhuravlev (Eds.) (pp. 11-29). Moscow: Izdatel'stvo «Institut psikhologii RAN» Publ.
- Zhel'tov, S.Yu. (2018). Chelovek-mashina-interfeys: evolyutsiya kabiny [Human-machine-interface: cockpit evolution]. Vystupleniye na zasedanii Prezidiuma RAN, posvyashchennogo prioritetam razvitiya aviatsionnoy nauki - 23 oktyabrya 2018 g. URL: <http://www.ras.ru/> (accessed: 07.12.2022) (in Russian).
- Lomov, B.F. (1966). *Chelovek i tekhnika [Human and technology]*. Moscow: «Sovetskoye radio». (in Russian).
- Mantrova, I.N. (2007). *Metodicheskoye rukovodstvo po psikhofiziologicheskoy i psikhologicheskoy diagnostike [Methodical guide to psychophysiological and psychological diagnostics]*. NSFT 010999.001 MU. ООО Neurosoft (Rossiya, Ivanovo). (in Russian).
- Matyukhin, V.V., Shardakova, E.F., Yampol'skaya, Ye.G., & Yelizarova, V.V. (2017). Obosnovaniye fiziologo-ergonomicheskikh meropriyatiy po snizheniyu razvitiya zritel'nogo utomleniya pri rabote s videodispleynymi terminalami [Substantiation of physiological and ergonomic measures to reduce the development of visual fatigue when working with video display terminals]. *Analiz riska zdorov'yu*, 3, 66-75. (in Russian). DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.08
- Makhtinger, A.I., Rundal'tseva, N.N. (1964). O metodike issledovaniya zritel'nogo utomleniya u detey [About the methodology for the study of visual fatigue in children]. *Gigiyena i sanitariya*, 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodike-issledovaniya-zritel'nogo-utomleniya-u-detey> (accessed: 29.11.2022) (in Russian).
- Oboznov, A.A., Zankovskiy, A.N., Bessonova, Yu.V. (2020). Ponyatiye ergonomicheskoy uyazvimosti cheloveko-mashinnykh interfeysov [The concept of ergonomic vulnerability of human-machine interfaces]. *Institut psikhologii Rossiyskoy akademii nauk. Organizatsionnaya psikhologiya i psikhologiya truda [Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational psychology and labor psychology]*, 5(2), 112-123 DOI: <https://doi.org/10.38098/ipran.opwp.2020.15.2.006> (in Russian).
- Peysakhov, N.M., Kashin, A.P., Baranov, G.G., & Vagapov R.G. (1976). Metody i portativnaya apparatura dlya issledovaniya individual'no-psikhologicheskikh razlichiy cheloveka [Methods and portable equipment for the study of individual psychological differences in humans]. V.M. Shadrin (Ed.). Kazan': Kazan University Press Publ. (in Russian).
- Polevshchikov, M.M., Dorogova, Yu.A., & Rozhentsov, V.V. (2017). Otsenka reaktsii na dvizhushchiysya ob'yekt [Evaluation of the reaction to a moving object]. *Obrazovatel'nyy vestnik «Soznaniye» [Educational Bulletin "Consciousness"]*, 7. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-reaktsii-na-dvizhuschiysya-obekt> (accessed: 27.11.2022). (in Russian).

Polevshchikov, M.M., Rozhentsov, V.V., & Palagina, N.I. (2009). Voprosy dostovernosti otsenki testa RDO [Questions of the reliability of the assessment of the RDO test]. *Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal [Siberian Pedagogical Journal]*, 7, 357-367. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-dostovernosti-otsenki-testa-rdo> (accessed: 27.11.2022). (in Russian).

Rabochaya gruppa Yevropeyskogo Kardiologicheskogo obshchestva i Severo-Amerikanskogo obshchestva stimulyatsii i elektrofiziologii (1999). Variabel'nost' serdechnogo ritma. Standarty izmereniya, fiziologicheskoy interpretatsii i klinicheskogo ispol'zovaniya [Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology]. *Vestnik aritmologii [Herald of arrhythmology]*, 11, 53-78. (in Russian).

Ustyenko, O.N., Polevshchiko, M.M., & Rozhentsov, V.V. (2017) Otsenka rezul'tatov testirovaniya reaktsii na dvizhushchiysya ob"yekt [Evaluation of the results of testing the response to a moving object]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26986> (accessed: 27.11.2022) (in Russian).

Kharitonov, V.V., Serogin, S.F. (2017). Ergonomicheskiye nedostatki kabin samoletov kak faktory riska bezopasnosti poletov [Ergonomic flaws in aircraft cabins as safety risk factors]. *Voprosy bezopasnosti [Security issues]*, 5, 1-11. (in Russian). DOI: 10.25136/2409-7543.2017.5.21604

Akagi, R., Sato, H., Hirayama, T., Hirata, K., Kokubu, M., & Ando, S. (2022) Effects of three-dimension movie visual fatigue on cognitive performance and brain activity. *Front. Hum. Neurosci.* 16:974406. DOI: 10.3389/fnhum.2022.974406

Bessonova, Yu. V. (2022). Psychological Vulnerabilities of Remote Working Interaction. *Modern Psychology Scientific Bulletin*, 1 (10), 31-39. DOI: <https://doi.org/10.46991/SBMP/2022.5.1.031>.

The article was received: 03.12.2022. Published online: 24.12.2022

Библиографическая ссылка на статью:

Косьянчук В.В., Бессонова Ю.В., Обознов А.А., Занковский А.Н., Грешников И.И., Махортов И.А. Метод поиска эргономических и психологических уязвимостей в операторской деятельности // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2022. Т. 7. № 4. С. 227–265. DOI: 10.38098/ipran.opwp_2022_25_4_010

Kosyanchuk, V.V., Bessonova, Y.V., Oboznov, A.A., Zankovskiy, A.N., Greshnikov, I.I., Makhortov, I.A. (2022). Metod poiska jergonomicheskikh i psihologicheskikh ujazvimostej v operatorskoj dejatel'nosti [Method for finding ergonomic and psychological vulnerabilities in human-interface interaction]. *Institut Psikhologii Rossiyskoy Akademii Nauk. Organizatsionnaya Psikhologiya i Psikhologiya Truda [Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Psychology of Labor]*, 7 (4), 227-265. (in Russian). DOI: 10.38098/ipran.opwp_2022_25_4_010

Адрес статьи: <http://work-org-psychology.ru/engine/documents/document851.pdf>