

УДК 159.9

ГРНТИ 15.81.31

## ИНДЕКС СООТНОШЕНИЯ ФОКАЛЬНЫХ И АМБЬЕНТНЫХ ФИКСАЦИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНИМАНИЯ<sup>1</sup>

©2023 г. Ю.В. Бессонова\*, А.А. Обознов\*\*

*\* 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*

Количество происшествий со сложными техническими средствами не снижается, несмотря на совершенствование техники. Проблемы по человеческим факторам включают проблемы восприятия и идентификации, распределения внимания, ситуационной осведомленности. В соответствии с гипотезой двух потоков, разные системы мозга связаны с обработкой разной визуальной информации: идентификация зрительных образов (вентральный поток), локализация (дорсальный). Данные фМРТ подтвердили теорию о связи амбьентных и фокальных фиксации с активацией дорсального и вентрального потоков. Амбьентная стратегия направлена на обеспечение пространственной ориентировки и характеризуется короткими фиксациями и высокоамплитудными саккадами, фокальная стратегия связана с осознанным вниманием и идентификацией и характеризуется длительными фиксациями и короткими саккадами. Типичным для летной деятельности является совмещение задач пилотирования и пространственной ориентировки, что при использовании пилотажно-навигационного интерфейса предстает как обеспечение контроля полетной обстановки и ситуационной осведомленности. Метод: в исследовании воссоздавались 2 одновременные задачи (пилотирование с заданной скоростью и поиск наземной цели). Исследование включало 5 серий, задание выполнялось при разных усложняющих условиях: стандартный полет, в сложных погодных условиях, при лимитировании времени, отказе двигателя, утомлении оператора. Длительность фиксации подчиняется полимодальному распределению с выделением кластеров ультракоротких компенсирующих фиксации (< 90 мс); коротких

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в соответствии с государственным заданием № 0138-2023-0010 «Регуляция профессионального взаимодействия в условиях организационных и технологических вызовов».

амбьентных 90-140 мс; предфокальных 140-200 мс; фокальных 200-350 мс и ультрадлинных фиксаций. Фокальные фиксации ассоциированы с более высокой эффективностью совмещенной деятельности: успешным поиском и идентификацией цели, точным считыванием и выдерживанием показаний скорости. Совмещенная деятельность сопровождалась ожидаемым эффектом туннелирования — в сложных условиях совмещенные задачи становятся конкурирующими, приоритет приобретает поиск наземной цели, что отражается в увеличении длительности фиксаций в соответствующей области интерфейса за счет уменьшения длительности фиксации в других зонах. Был предложен индекс для поиска уязвимостей, связанных с переключением внимания при выполнении совмещенных задач как отношение плотности распределения фокальных фиксаций к амбьентным. В отличие от средней длительности фиксации или разницы фокальных и амбьентных фиксаций, индекс более чувствителен к изменениям когнитивных стратегий обработки зрительной информации и более тесно коррелирует с ошибками пилотирования.

Ключевые слова: уязвимости, внимание, распределение внимания, визуальное восприятие, совмещенная деятельность, оператор, индекс, фиксации.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность настоящего исследования состоит в недостаточной методической проработанности выявления несоответствий между представлением информации на интерфейсах и возможностями человека по её восприятию.

Несмотря на совершенствование техники и соблюдение эргономических требований при ее разработке, количество происшествий со сложными техническими средствами не снижается. Предполагалось, что с ростом автоматизации будет возрастать и надежность деятельности, автоматика сможет быстрее реагировать на ситуации, чем человек, но автоматизация создает новые риски и новые ошибки, возрастает информационная загруженность операторов, уровень их психического напряжения и требований к оператору. Внедрение автоматизации повышает нагрузку на оператора за счет роста данных от систем мониторинга, возросших требований к скорости принятия решений, снижения ситуационной осведомленности из-за дистанционного управления, снижения времени принятия решения за счет задержки передачи данных, недостатков обратной связи, мономодальности информации (Lynch et al., 2022). Роль оператора все

более сводится к выполнению контролирующей функции, управление опосредовано бортовыми автоматизированными системами, определяющими отображение информации для оператора и участвующими в процессе управления техникой.

Технические решения способствуют повышению ситуационной осведомленности оператора, если он обладает высокой мотивацией или проинструктирован вести поиск целевых объектов. Однако, как показано в исследовании водителей, если внимание сосредоточено на задаче, не связанной с управлением, ситуационная осведомленность по сравнению с ручным управлением значительно снижена (de Winter et al., 2014).

Ошибки взаимодействия человека-оператора с интерфейсом признаются причиной 80% морских происшествий, свыше половины происшествий с беспилотными летательными аппаратами. Выявлен ряд устойчивых проблем человеческого фактора: основные проблемы сосредоточены в области восприятия и понимания информации, распределения внимания, обеспечения ситуационной осведомленности (Lynch et al., 2022). Экспериментально доказано, что вариабельность ошибок взаимодействия оператора с интерфейсом была связана с различной когнитивной обработкой информации (Abu-Alqumsan et al., 2017).

Причиной некорректного считывания и интерпретации информации являются особенности интерфейса, не соответствующие возможностям человека и требованиям деятельности, и которые и не нивелируются в процессе обучения. Для объяснения несоответствий вводятся понятия эргономических уязвимостей интерфейса и психологических уязвимостей человека-оператора. Условием проявления уязвимостей является влияние определенных провоцирующих воздействий, которые могут оставаться неизвестными или не принятыми в расчет на этапах разработки, испытаний и эксплуатации интерфейсов.

В соответствии с гипотезой двух потоков (Milner, Goodale, 2008) за обработку пространственной и предметной визуальной информации отвечают различные системы мозга: вентральный поток отвечает за идентификацию и распознавание зрительных

образов, дорсальный за локализацию и пространственное положение объекта. Исследование с помощью фМРТ подтвердило теорию Б.М. Величковского о связи амбьентных и фокальных визуальных фиксации с активацией дорсального и вентрального потоков обработки зрительной информации. Амбьентная стратегия обработки зрительной информации направлена на обеспечение ориентировки и характеризуется короткими фиксациями и высокоамплитудными саккадами, тогда как фокальная стратегия связана с осознанным вниманием и идентификацией рассматриваемого объекта и характеризуется длительными фиксациями и короткими саккадами (Unema et al., 2005). Совмещенная деятельность требует быстрого переключения между задачами, поддержание ориентировки и идентификации нескольких объектов на одинаково эффективном уровне при определенных внешних условиях противоречит возможностям распределения внимания в силу торможения конкурентных процессов и наличия рефрактерного периода. Ошибочные действия и пропуск сигналов, связанные с отвлечением внимания, могут объясняться двумя механизмами: конкуренцией за ресурсы обработки и изменением стратегии перемещения взгляда из-за активации конкурирующих целей (Reyes, Lee, 2008).

Одной из наиболее актуальных проблем при решении поставленной задачи является метод диагностики, показатели и критерии оценивания.

При изучении процессов переработки информации, особенно в режиме текущей деятельности, невозможно обойтись лишь вербальными отчетами испытуемых, которые далеко не всегда фиксируют в сознании все действия и операции мыслительной деятельности. Необходим методический арсенал, позволяющий изучать экстерниоризованные компоненты мышления человека, решающего задачу, условия которой представлены ему в наглядной форме (Тихомиров, 1969). К числу таких компонентов относится *окуломоторная активность*.

Когнитивная сложность задачи не коррелирует с показателями успешности ее решения, которые являются производными от ресурсов (интеллектуальных

возможностей) и мотивации субъекта. Поэтому инструментальные методы оценки когнитивной нагрузки должны базироваться на объективных маркерах процессов восприятия и обработки информации, а не на внешне наблюдаемой результативности действий (Бабаева с соавт., 2012).

Движения глаз выполняют различные функции: ориентировки, поиска, установки в оптимальное положение, измерения, контроля, построения зрительного образа и опознавания. При многократном предъявлении стимулов при повторных предъявлениях выбор ошибочных направлений уменьшается, и зрительный поиск «привязывается» к некоторым отдельным элементам стимула (Зинченко, 1958). Завалишина Д.Н. выделила три основных этапа решения задач, описав особенности связи каждого из них с движениями глаз: — ознакомление с ситуацией, ее анализ и постановка проблемы (движения глаз в значительной степени однозначно соответствуют характеру интеллектуальной деятельности); — разработка вариантов решения (по движениям глаз можно составить лишь общее представление о ходе мышления); — формирование и реализация окончательного плана решения (связь движений глаз с интеллектуальной активностью установить сложно) (Завалишина, 1965).

В процессе анализа глазодвигательной активности при анализе сложной деятельности было установлено, что траектория движения глаз позволяет реконструировать мыслительный процесс. Фиксации отражают просматриваемые варианты решений и ту ситуативную информацию, на которых они строятся, даже если промежуточные варианты решения в дальнейшем не исполняются (Just, Carpenter, 1976; Бабаева с соавт., 2012). Локус и длительность фиксации отражает процесс обработки информации, т.е. интенсивность когнитивной нагрузки в единицу времени.

Основной идеей айтрекинга является принцип «направление взгляда отражает фокус внимания», основанный на полученных еще в ранних исследованиях движений глаз результатах, что характер движения глаз крайне мало зависит от содержания зрительного стимула (Ярбус, 1965). Движения глаз в большей степени определяются

задачей, поставленной испытуемому, а также ожидаемой информацией: процесс движения глаз отражает процесс мышления человека и выбора объектов его интереса.

В дальнейших работах были получены данные об отражении в окуломоторных показателях, прежде всего, в длительности фиксации и саккад, механизмов психической регуляции деятельности (Костин, Голиков, 2010) и стратегий восприятия информации (Pannasch et al., 2010). Отмечено влияние преднастройки восприятия на паттерны движений глаз и вычленение различных смысловых зон изображения в зависимости от задач, поставленных перед испытуемым, и игнорирования информации, не представляющей интереса для него - эффект «баннерной слепоты». Отсюда следуют основные направления применения метода айтрекинга для диагностики уровня обученности операторов, функциональных состояний в текущем моменте времени, когнитивных процессов (направленность внимания отражает процесс принятия решений и то, на основании каких вводных данных решение принимается), уровень сенсорной и когнитивной нагрузки оператора.

Практика применения регистрации окуломоторной активности для диагностики функциональных состояний оператора и его когнитивных процессов включает ряд направлений.

### **1. Оценка состояния утомления**

Паттерны окуломоторной активности интенсивно используются при оценке функциональных состояний, особенно стресса и утомления в процессе управления транспортными средствами и операторской деятельности.

В авиации системы регистрации движений глаз применяются для оценки характеристик зрительного восприятия, внимания пилотов в процессе решения различных задач на тренажерах. На основе данных айтрекинга разрабатываются методы оценки состояния утомления у водителей наземного транспорта: к одним из ключевых показателей умственного утомления водителей относят снижение пиковой скорости саккадических движений глаз (Di Stasi et al., 2012).

В работах Б.М. Величковского айтрекинг применялся для оценки способности водителей наземного транспорта реагировать на потенциально опасные или критические ситуации на дороге (например, внезапное появление пешехода, красный свет светофора на перекрестке). Авторами было показано, что возникновение критической ситуации связано с увеличением длительности фиксации взора, при этом удлинение фиксации не угасает со временем. Кроме того, ошибочным действиям (проезд на красный свет) предшествуют 2-3 короткие амьентные фиксации (длительностью порядка 200 мс). В случае адекватных реакций водителя фиксации взора перед критическим событием имели среднюю продолжительность около 400 мс, что авторы связывают с фокальным, или пристальным, анализом ситуации. Причина ошибок, по мнению авторов, кроется в переключении с фокальной на амьентную обработку поступающей информации, когда водители не успевают своевременно идентифицировать опасность, так как критические события случаются во время перцептивной обработки, задачей которой является ориентация в пространстве. Полученные данные позволяют разработать модели ранней диагностики дорожных эпизодов с высокой вероятностью допущения ошибки водителем (Величковский, 2006).

Результаты приведенного выше исследования подтверждаются исследованием (Schleicher et al., 2008) взаимосвязи утомления и сонливости водителей со снижением доли когнитивных фиксации (продолжительностью более 150 мс) и возрастанием доли коротких произвольных фиксации, или «экспресс-фиксаций» (продолжительностью менее 150 мс).

Одним из наиболее часто используемых окуломоторных маркеров утомления является частота и продолжительность моргания. Тогда как диаметр зрачка в большей мере отражает уровень когнитивной нагрузки и активации симпатической нервной системы, длительность моргания, особенно фазы закрывания глаз, и количество саккад связаны с развитием утомления, что часто используется для диагностики развития именно зрительного утомления (Iatsun et al., 2013).

## 2. Эмоциональное состояние

Исследования в рамках «value driven attention» (Bessonova, Oboznov, 2018) позволили выявить окуломоторные маркеры внимания к значимому стимулу, достоверно отличающие его от внимания к нейтральному стимулу или стимулу, выделенному с помощью композиции. При детекции значимого стимула и фиксации взгляда на нем снижаются показатели амьбьентного (поискового) внимания и повышаются показатели фокального внимания. Поисковая активность, связанная с рассматриванием всей площади стимульного поля, сменяется сосредоточением на стимуле. Рост сосредоточения внимания на значимом стимуле отражает активное внимание респондента к рассматриваемому стимулу, что проявляется в совокупности показателей: сокращается общая длина траектории взора и изменяется последовательность рассматривания стимулов, существенно уменьшается количество и длительность морганий, в 2,5 раза возрастает количество повторных фиксации при рассматривании субъективно значимых стимулов и длительность первой фиксации на значимом стимуле. Снижение количества возвратов при рассматривании стимульного поля выступают признаками того, что респондент уже выбрал на слайде наиболее привлекательный объект и сосредоточил внимание на нем.

Сосредоточение непроизвольного внимания на эмоционально окрашенном стимуле (Valtchanov, 2015) в совокупности с распределением зон внимания положено в основу применения айтрекинга в качестве метода диагностики правды-лжи (Bessonova, Oboznov, 2018) и полноценной замены полиграфа.

Кроме того, возможность диагностировать, классифицировать и впоследствии прогнозировать состояние водителей с помощью айтрекера основывается на выявлении «зон внимания» в процессе восприятия визуального контента, соответствующего специфике деятельности.

Диаметр зрачка отражает активацию вегетативной нервной системы (Yamanaka, Kawakami, 2009). Tarnowski с соавт (2020) показал, что диаметр зрачка является

наиболее чувствительным маркером эмоционального состояния респондента: минимальный диаметр зафиксирован при нейтральном эмоциональном состоянии, а увеличение зрачка коррелирует с силой переживаемых эмоций вне зависимости от их знака. Вторым по тесноте корреляции с силой переживаемых эмоций являлся показатель количества фиксации на эмоционально значимом стимуле: количество фиксации прямо возрастало при увеличении силы эмоции.

Сравнительный анализ чувствительности метода айтрекинга по сравнению с другими психофизиологическими методами показал (Zhao et al., 2019), что для распознавания позитивных эмоций и снижения фона настроения предпочтительнее метод ЭЭГ, тогда как для распознавания страха и стресса показатели окуломоторики являются более чувствительными, а среди всех окуломоторных показателей наиболее информативным является изменение диаметра зрачка.

### 3. Оценка уровня стресса

Современная психология определяет стресс как сложный синергетический ответ, включающий нервный, эндокринный, поведенческий и психологический уровни, специфичные для каждого отдельного стрессора и зависимые от его индивидуальной значимости. Однако, общими для стресса являются три компонента: состояние повышенной возбудимости или возбуждения; негативное эмоциональное переживание; неподконтрольность и/или непредсказуемость развития событий.

Уровень эмоционального возбуждения при стрессе способствует снижению сознательного контроля и активизации произвольного внимания (DiGirolamo et al., 2016), что проявляется в выраженных изменениях окуломоторной активности.

Применение окуломоторных показателей для оценки тревожности и уровня стресса пилотов в процессе реальной деятельности и на полномасштабных тренажерах показало, что для оценки когнитивной нагрузки и для изменений аффективного состояния должны использоваться разные наборы маркеров: показатели саккад не чувствительны к изменениям в аффективном состоянии пилотов, в отличие от длительности фиксации

(Tichon et al., 2014). В исследовании водителей автомобилей стресс проявлялся в удлинении фиксации на приборах, имеющих первостепенную важность для обеспечения либо безопасности, либо выполнении основной задачи (Sodhi et al., 2002), в разных приоритетах считывания информации при прохождении открытых и закрытых поворотов, в изменении последовательности считывания показаний приборов и количества взглядов (Kandil et al., 2010).

Наиболее широкое распространение у исследователей в контексте оценки состояния стресса получили показатели диаметра зрачка и характеристики моргания. Уровень стресса контролировался по частоте пульса и самоотчету испытуемых, результаты показывают статистически значимую корреляция между силой переживаемого стресса, частотой пульса и степенью расширения зрачка (Hirt et al., 2020).

Метаанализ 48 статей, направленный на сравнительный анализ разных способов оценки стресса пилотов гражданской авиации (Masi et al., 2023), показал, что объективизированные аппаратные или поведенческие измерения, построенные на оценке вегетативной, нервной реакции на стресс, составляют преобладающее большинство в авиации (30 из 48 статей), с тенденцией к дальнейшему росту. Наиболее распространенной является оценка деятельности сердечно-сосудистой системы в контексте стресса. В 8 статьях рассматривался метод айтрекинга для диагностики стресса с использованием показателей диаметра зрачка, анализа паттернов перемещения взгляда, частоты и длительности морганий, длительности фиксации, частоты и длительности саккад.

Показано, что айтрекинг широко применяется для оценки стресса на тренажерах и для эргономической оценки рабочего места при проектировании кабины, однако в реальной деятельности метод недостаточно распространен, несмотря на технические возможности интеграции айтрекера в шлем и большой объем накопленных научных данных, подтверждающих преимущества айтрекера для адаптивной идентификации цели,

мониторинга когнитивных функций и функционального состояния пилота (там же). Показано преимущество айтрекинга по сравнению с лабораторными пробами для мониторинга уровня стресса в полете, его неинвазивность, точность, чувствительность к текущему состоянию, применимость без вмешательства в процесс летной деятельности.

#### 4. Оценка уровня напряженности и нагрузки

Психическая и физическая напряженность сопровождается комплексом функциональных изменений в нервной деятельности, работе сердечно-сосудистой системы, деятельности органов чувств. Высокий уровень напряженности возникает либо при недостаточной обученности оператора, либо при наступлении нештатной, трудной ситуации, что сопровождается увеличением плотности сенсорных сигналов, необходимых для визуального считывания, когнитивной обработки и принятия решений. Высокая плотность сигналов проявляется в смене когнитивной стратегии обработки визуальной информации (сокращение длительности фиксаций), изменении паттернов глазодвигательной активности, изменении траектории взгляда, последовательности и приоритете считывания информации с приборов.

Оценка *сенсорной нагрузки* оператора по плотности сенсорного поля и подсчете поступающих сигналов чрезвычайно трудоемка и недостаточно корректна, поскольку оператор зачастую использует интегральную оценку, ориентировочную стратегию считывания информации по показателям ключевых приборов и периферическое зрение, не регистрируемое современными айтрекерами, поэтому исследователи предпочитают применять оценку информационной нагрузки на оператора.

Маркерами информационной нагрузки выступает длительность сосредоточенного наблюдения, частота и длительность фиксаций в «зонах интереса» (Зибарев и др., 2022). Совместное применение окуломоторной регистрации, варибельности сердечного ритма, концентрации внимания, скорости реакции и количества совершаемых ошибочных действий показало возможность применения окуломоторных маркеров для выявления

утомления, которое впоследствии проявляется в снижении физиологических критериев и надежности деятельности.

Еще одним маркером сенсорного напряжения считается частота переключений взгляда между ключевыми элементами интерфейса (приборами) и частота возвратов, связываемая с перепроверкой воспринимаемой информации в условиях высокой неопределенности (Величковский, 2020).

Использование окуломоторных показателей для оценки *когнитивной нагрузки* имеет более давнюю традицию использования. Для оценки когнитивной нагрузки предлагается комплекс маркеров, как в совокупности (Zagermann et al., 2016), так и изолированно. Исторически, традиционным маркером когнитивной нагрузки при выполнении задания является расширение диаметра зрачка при повышении нагрузки (Канеман, 2006). По Д.Канеману, изменение диаметра зрачка — один из точных и надежных показателей динамики умственного усилия. Этот показатель отражает текущую степень напряженности, вовлеченности испытуемого в задачу, но вместе с тем большое усилие еще не обеспечивает правильность ее решения. Автор подчеркивает, что состояние высокой активации может отражать не только усилия испытуемого, но и то, что с ним происходит, стресс, которому он подвергается. Ресурсная модель внимания, центральную роль в которой играет регуляция уровня умственных усилий и распределения количественно ограниченного умственного ресурса по разным текущим задачам, была подтверждена с помощью этого показателя, в том числе и на материале арифметических заданий (Канеман, 2006). Достоверно показан диаметр зрачка как маркер умственного утомления, интереса, внимания и трудности задачи. Показано, что диаметр зрачка является информативным маркером детекции цели в процессе зрительного поиска, субъективной значимости визуальной информации, правдивости ответов.

Исследования последних лет при пролонгированной нагрузке упоминают диаметр зрачка как маркер когнитивной нагрузки, что актуально для измерения ситуативной и

пиковой нагрузки, но не для оценки нагрузки при монотонии (Пучкова и др., 2017). Диаметр зрачка сигнализирует о резком изменении уровня активации, что подтверждает ранее полученные данные, но не всегда может отражать сложность текущего задания. При выполнении монотонного задания в течение длительного времени размер зрачка адаптировался и возвращался к усредненным значениям. Был установлен феномен гиппуса — медленного колебания диаметра зрачка при постоянном освещении — сопровождающий длительную умственную нагрузку и развитие сенсорного утомления.

Накоплен значительный объем данных, позволяющих использовать саккадические показатели для оценки как уровня когнитивной нагрузки, так и утомления оператора (Zimmerer et al., 2023). Нейронными механизмами соотношения просаккад и антисаккад является сбалансированность процессов возбуждения и торможения центральной нервной системы, что подтверждается данными фМРТ: разные нейронные механизмы отвечают за произвольное и непроизвольное внимание, за активацию саккад при принятии решений и при реакциях ориентировки. При повышенном когнитивном контроле деятельности с развитием утомления либо истощения когнитивных ресурсов, что контролировалось по уровню оксигенации крови, повышалась латентность просаккад и частота антисаккад с ростом количества ошибок деятельности (Talanow et al., 2016).

Для оценки уровня когнитивной нагрузки и эффективности *распределения внимания* при когнитивном отвлечении (выполнении совмещенных задач) эффективными являются показатели длительности фиксации и длительность суммарного времени рассматривания отдельных элементов. Проведен обширный перечень исследований на водителях, пилотах, машинистах, спортсменах. Впервые идея была сформулирована Джастом и Карпентером (1980): фиксация отражает фокус внимания, точка фиксации соответствует пространственному положению когнитивной обработки информации, а длительность фиксации соответствует длительности когнитивной обработки материала. «Глаз остается зафиксированным на слове до тех пор, пока слово обрабатывается. Таким образом, время, необходимое для обработки слова, соответствует длительности фиксации

на нем» (там же, с. 330). Дальнейшие исследования показали, что это не совсем верно, когнитивная переработка информации включает и области периферического зрения, не соответствует непосредственно точке фиксации и продолжается в момент перевода взгляда (Henderson, Ferreira, 2004). Предполагается (Барабанщиков, Жегалло, 2014), что более продолжительные фиксации связаны с более сложными уровнями переработки информации, и тем самым — с большей когнитивной нагрузкой. Длительность фиксации отражает степень консолидации воспринимаемой информации с кратковременной зрительной памятью (Brockmole, Irwin, 2005). Однако, показатель длительности фиксации превышает по надежности и точности другие маркеры когнитивной нагрузки, в т.ч. диаметр зрачка, но только как маркер нагрузки на память, зависящий от плотности информации в сенсорном поле, частоты предъявления и объема рабочей памяти (Meghanathan et al., 2015). Диаметр зрачка отражает количество целей, только когда он превышает объем внимания, и чувствителен только к когнитивной нагрузке при обработке информации. Длительность фиксации чувствительна и к нагрузке при обработке информации, и к фактической нагрузке на зрительную память, кроме того, длительность фиксации продолжает увеличиваться по мере роста количества целевых элементов (там же). Данные фМРТ подтверждают, что длительность фиксации коррелирует с активностью префронтальной коры, ответственной за исполнительный контроль, планирование движений и связанной с анализом сцены в реальном времени (Henderson, Choi, 2015).

Установлено, что стимулы одинаковой модальности, в частности дополнительный визуальный стимул для водителей, являются помехой, в наибольшей степени повышающей когнитивную нагрузку (Hsieh, 2015). Имеет диагностическое значение не столько усредненная длительность фиксации на объекте (приборе и т.п.), сколько средняя продолжительность одного взгляда (среднее время пребывания глаза на дисплее или элементе управления, необходимое для выполнения задачи) при повторном переключении внимания на этот элемент (Young, 2012). Длительность первого взгляда

отражает поддержание ситуационной осведомленности и ориентировки, связана с загруженностью оператора. Длительность взглядов на второстепенную задачу позволяет дифференцировать внимание на «отвлечение внимания из-за рабочей нагрузки» и «отвлечение, связанное с предотвращением нежелательного события». Разработан ряд тестов для оценки когнитивной нагрузки на внимание на основе показателей длительности фиксации (Young et al., 2013; Hsieh, 2015), а также пригодность длительности фиксации в качестве прямого и непрерывного метода регистрации когнитивной нагрузки, в т.ч. в кабине пилота (Babu et al., 2019).

Длительность морганий в литературе часто рассматривается как маркер снижения работоспособности и измененного состояния — утомления (Stern et al., 1994), сонливости (Ingre et al., 2006), состояния седации (Jandziol et al., 2001). Однако, ряд данных свидетельствует о том, что показатели морганий связаны с высокой когнитивной нагрузкой, приводящей к истощению психофизиологических ресурсов. Как полисинаптический стволовой рефлекс на увеличение интенсивности стимуляции любой модальности, моргание оказывает влияние на процесс обработки информации и наоборот: высокоуровневый когнитивный процесс (направленное внимание) модифицирует рефлекс моргания (Schicatano, 2016). Моргание ассоциировано с интенсивностью когнитивной нагрузки, а не ее продолжительностью. Возможно, это взаимосвязанные показатели: так, Maffei и Angrilli (2018) установили, что сложная зрительная задача, требующая повышенного внимания, проявляется в урежении морганий в течение первых минут и приводит к развитию зрительного утомления и увеличению частоты моргания уже с 4й минуты выполнения. Siegle с соавторами разработали алгоритм определения когнитивной нагрузки по показателям диаметра зрачка и морганию (Siegle et al., 2008). Частота, скорость и длительность моргания связаны не столько с трудностью, сколько с характером задачи, который в свою очередь — с механизмом обработки информации: интервал моргания увеличивался, а продолжительность моргания уменьшалась (Tanaka, Yamaoka, 1993) и с плотностью подачи стимульной информации (Goldstein et al., 1992).

Частота морганий увеличена у опытных респондентов по сравнению с новичками, поскольку ассоциирована со снижением когнитивной нагрузки и уровня стресса. Исследования на водителях показали, что продолжительность моргания, по сравнению с частотой моргания, является более чувствительным и надежным показателем зрительной нагрузки; длительность морганий отражает также характер выполняемых задач — взаимодействие с бортовыми информационными системами характеризовалось короткими морганиями, тогда как рост длительных морганий вызывало долгое нахождение за рулем (Benedetto et al., 2011). В нейронные модели оценки когнитивной нагрузки и утомления входят: длительность фиксации, размер зрачка, длительность, частота и интервал моргания наряду с диаметром зрачка (Vafna et al., 2021).

Накоплен значительный опыт использования показателей окуломоторики для диагностики функциональных нарушений, связанных с воздействием пилотажных перегрузок на функциональное состояние организма и работоспособность летчика. В частности, предобморочное состояние проявляется в длинном дрейфе взгляда, надежно регистрируемом не только современными айтрекерами, но и простейшими видеокамерами.

В 2019 году сотрудники Военно-Медицинской Академии имени С. М. Кирова подчеркнули перспективность использования технологии айтрекинга для оценки эргономики рабочего места летчиков и более глубокой оценки системы взаимодействия «пилот — летательный аппарат». Анализ распределения внимания на приборной панели предоставит позволяет выявить потенциальные уязвимости, узкие места, активные и «слепые зоны», способствуя своевременному выявлению и решению возникающих эргономических проблем.

НИИ медицины труда им. Н.Ф. Измерова использует айтрекинг для оценки показателей утомления и напряженности труда пилотов гражданской авиации, в том числе при оценке санитарно-гигиенических характеристик уровня напряженности труда на рабочем месте при полетах в одно лицо (Зибарев и др., 2022).

**Гипотеза** настоящего исследования заключалась в предположении, что при одновременном выполнении совмещенных действий, особенно под влиянием усложняющих факторов, можно спровоцировать актуализацию психологической уязвимости, связанную с распределением внимания, что скажется на успешности выполнения конкурирующих задач и уровне когнитивного напряжения оператора.

**Цель:** выявить маркер психологических уязвимостей, связанный с распределением внимания при совмещенной деятельности при выполнении полетного задания. Типичным для летной деятельности является совмещение двух задач — пилотирование и пространственная ориентировка (Пономаренко, 2000). При использовании пилотажно-навигационного интерфейса эти задачи трансформируются в задачу контроля за автоматическим управлением и задачу поддержания ситуационной осведомленности.

**Метод:** в экспериментальном исследовании воссоздавалась совмещенная деятельность по выполнению двух одновременных задач: выдерживание заданного режима полета (пилотирование со скоростью в диапазоне от 200 до 220 км/ч) и поиск заданного наземного объекта. Дизайн эксперимента включал 5 серий, предполагающих выполнение одного и того же полетного задания при усложняющихся условиях по степени их нарастания: в стандартных условиях, плюс усложненные погодные условия, плюс лимитирование времени выполнения задания, моделировании отказа отказ левого двигателя, утомление оператора.

Выполнение полетного задания сопровождалось регистрацией окулоmotorной активности и движения взгляда с помощью айтрекера SMI Red-M 250 Hz (SMI, Germany). Тренажер воссоздавал внекабинную обстановку, включая наземные объекты и приборную информацию внутри кабины на 55” мониторе, расположенном на расстоянии 110 см от испытуемого. Установка SMI Red-M была зафиксирована на расстоянии 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 BeGaze 3.4.

Регистрировалась ЭКГ для анализа variability сердечного ритма. Регистрация проводилась на электроэнцефалографе НейронСпектр-4/П (ООО Нейрософт, Иваново) с полиграфическими каналами, частота дискретизации записи 250 Гц.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Успешное выполнение полетного задания требует одновременного выполнения конкурирующих задач — высокой точности считывания показаний приборов, что требует оптимального количества фокальных фиксаций и минимизации «корректировочных» сверхкоротких, и поддержания распределения внимания между внекабинной и внутрикабинной обстановкой, выдерживания заданных параметров полета и поиском наземной цели, и пр.), а также поддержания оптимального баланса между вниманием и когнитивной переработкой информации.

Длительность фиксаций в зависимости от амплитуды саккад подчиняется полимодальному распределению, с четким выделением типов фиксаций (подробно результаты изложены: Косьянчук и др., 2022): сверхкоротких корректировочных фиксаций до 90 мс ( $M=66\pm 26,9$ ; 10,5%) и коротких фиксаций от 90 до 140 мс ( $M=116\pm 13,7$ ; 10,3%), обусловленных переключением внимания и связанных с амбьентным восприятием, требующим быстрой ориентировки; предфокальных фиксаций 140-200 мс ( $M=169\pm 15,7$ ; 13,6%); фокальных 200-350 мс ( $M=269\pm 39,5$ ; 24,1%), сверхдлинных фиксаций свыше 350 мс с максимальным количеством в диапазоне 380-440 мс ( $M=417,6\pm 39,0$ ; 24,9%).

По данным окуломоторной активности при выполнении совмещенной деятельности происходит ожидаемый эффект туннелирования - приоритетная фокусировка внимания на задаче поиска и опознания заданной наземной цели в ущерб контролю указателя скорости и выдерживанию заданной скорости полета. Совмещенная

деятельность требует оптимального количества фокальных фиксации и для поиска цели, и для считывания показаний скорости. Однако задача поиска и опознания заданного наземного объекта выбирается оператором в качестве приоритетной и сопровождается ростом длительности фиксации за счет сокращения длительности фиксации в менее субъективно значимых остальных зонах интереса. Туннелирование заключается в увеличении количества фиксации при сокращении их длительности. Отмечается *поляризация* типов фиксации: увеличивается как количество коротких и сверхкоротких фиксации, так и сверхдлинных, за счет сокращения доли фокальных фиксации. Происходит резкое сокращение количества фокальных фиксации на показаниях скорости за счет большого количества переключений внимания и увеличения доли коротких ориентировочных фиксации. Контроль скорости при выполнении совмещенных задач ухудшается в 2-2,5 раза, что связано не только с эргономическими недостатками интерфейса (недостаточно информативной индикацией скорости и необходимостью переноса взгляда в другую, пространственно удаленную зону интерфейса), но и конкуренцией целей.

Эффект туннелирования усиливается при действии усложняющих факторов, что связано с активизацией зрительного поиска цели в условиях усложненной обстановки. Наибольший эффект отмечается при первом неожиданном предъявлении усложняющего фактора ухудшении метеоусловий и при утомлении оператора.

Установлена *инерционность* воздействия конкуренции целей: поляризация типов фиксации пролонгирована во времени. Это проявляется в изменении окулоmotorной активности не только на этапе совмещенной деятельности, но и на последующих этапах полетного задания, не предполагающих конкуренции целей.

Также отмечена *генерализация* влияния усложняющих факторов, проявляющаяся в сокращении длительности фиксации не только на показаниях скорости, но и на других зонах интереса. Выполнение более приоритетной задачи поиска цели сопровождается

сдвигом в преобладание коротких фиксации не только на указателе скорости, но и на другой навигационной индикации.

Кроме того, установлен эффект *тренированности*: максимальное ухудшение показателей окулomotorной активности отмечается при первом, внезапном предъявлении усложняющего фактора, в дальнейшем происходит адаптация операторов с частичным восстановлением исходных показателей стратегий обработки информации.

### **Влияние стратегий когнитивной обработки зрительной информации**

Результаты дисперсионного анализа подтверждают, что более высокая длительность фиксации связана с более высокой эффективностью совмещенной деятельности: успешным поиском и идентификацией наземной цели ( $F(1, 3256)=7,03, \rho<0.008; \eta^2= 0,21$ ), отсутствием пропусков в считывании показаний скорости ( $F(1, 2732)=16,65, \rho<0.00; \eta^2= 0,08$ ), выдерживанием скорости в заданных пределах ( $F(1, 2926)=6,76, \rho<0.009; \eta^2= 0,05$ ). Снижение длительности фиксации тесно связано с ошибками оператора при выполнении совмещенной деятельности.

Сравнительный анализ роли амьентных и фокальных фиксации в возникновении ошибок оператора при выполнении совмещенной деятельности показал, что особенности распределения внимания, в частности, сосредоточение внимания на поиске наземной цели в ущерб соблюдению скорости: невыдерживание требований к заданной скорости и пропуск речевого доклада о текущих показаниях скорости связаны с преобладанием амьентных фиксации и укорочением длительности фокальных (рис. 1).

Выполнение второй конкурирующей задачи, поиска наземной цели, не сопровождалось изменением соотношения амьентных и фокальных фиксации ( $F(1, 1596)=3,08, \rho<0.08; \eta^2= 0,04$ ).

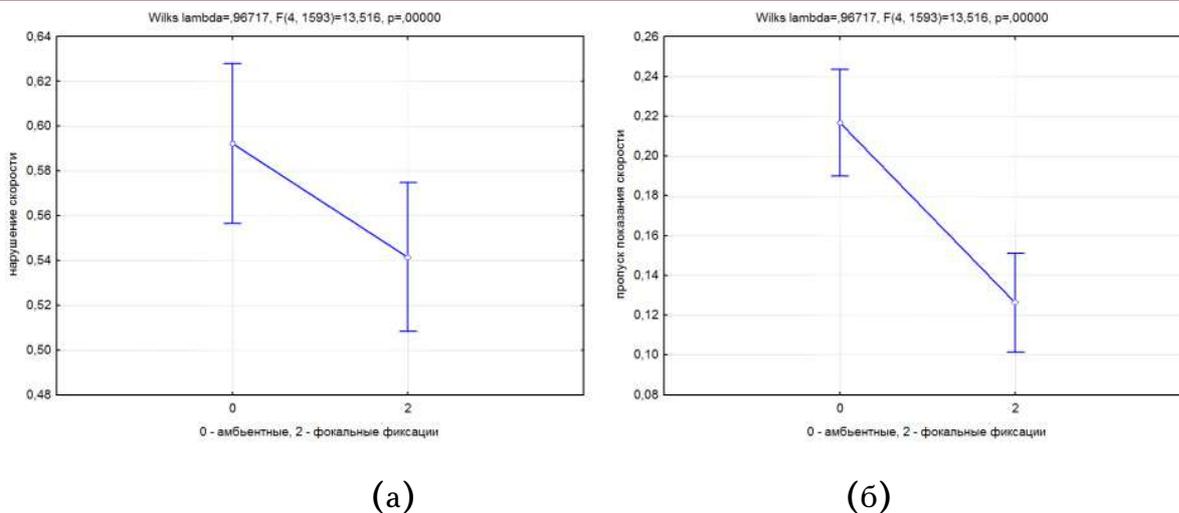


Рис. 1. Частота амбьентных и фокальных фиксаций при нарушении скорости (а) и пропуске речевого доклада показаний скорости (б).

С целью оценить совместное влияние состояния оператора, оцениваемое по уровню утомления, когнитивной нагрузки, психического напряжения, и стратегий обработки информации был проведен общий регрессионный анализ (GRM-анализ). Графическое представление результатов (графики Парето, рис. 2) отражает неравнозначность изучаемых переменных.

Достижение результата в виде поиска и опознания целевого объекта в наибольшей степени детерминированы уровнем психического напряжения (оцениваемым по вариабельности сердечного ритма, ВСР), когнитивной нагрузки (по диаметру зрачка), отражающими уровень мобилизации оператора на достижение цели, и, в меньшей степени, стратегиями обработки зрительной информации, измеряемыми как преобладание ориентировочной реакции или направленного восприятия с осознанной идентификацией объектов.

Успешность выполнения второй конкурирующей цели — считыванием показаний скорости, связанной с возможностями распределения внимания в условиях усложненной обстановки, детерминирована общим уровнем психического напряжения и преобладающей стратегией обработки зрительной информации.

Выдерживание показаний скорости в заданных пределах представляет собой отдельную задачу, успешность которой в наибольшей степени связана с состоянием оператора и не зависит от особенностей восприятия зрительной информации.

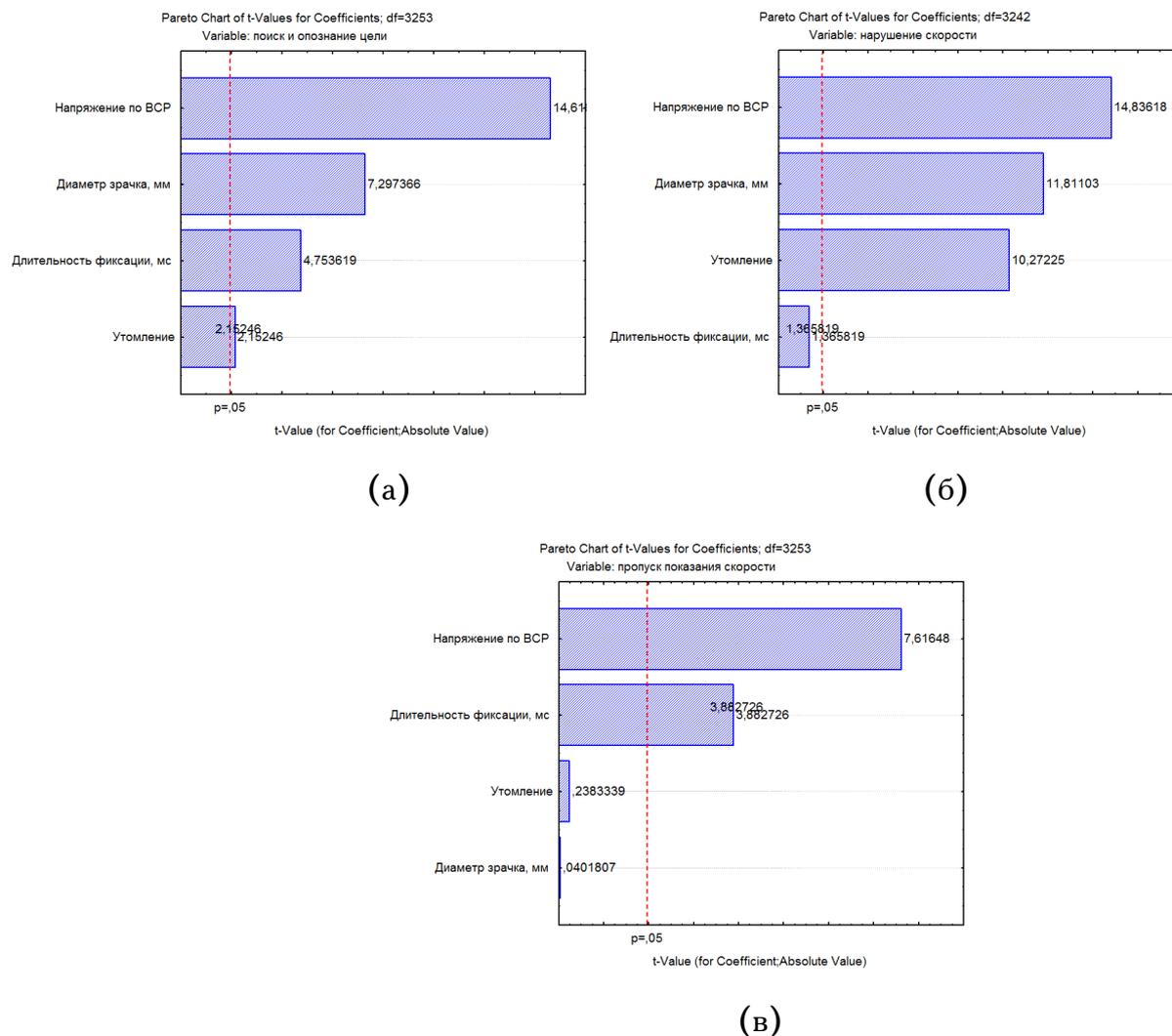


Рис. 2. Оценка информативности различных маркеров психической напряженности при ошибочных действиях во время поиска цели (а), выдерживании требуемой скорости (б), голосовом докладе показаний скорости (в).

Полученные результаты представляют интерес для мониторинга этих переменных (состояния оператора и стратегий обработки зрительной информации) с учетом эргономики интерфейса. Тогда как для оценки состояния в настоящее время разработано достаточное количество показателей, отдельной задачей является разработка показателя оценки стратегий восприятия. Указанный показатель должен соответствовать

требованиям высокой чувствительности к изменениям, легкости и простоты вычисления, возможности автоматизации обработки и индикации.

### **Индекс соотношения фокальных и амбьентных фиксации**

Для поиска уязвимостей мы использовали прием выявления фокальных целевых фиксации (Величковский с соавт., 2013), используемых в качестве маркера зрительных команд (имитации «нажатия» взглядом на кнопку интерфейса). Однако, нас интересовали не только плотность распределения (т.е. вероятность появления) фокальных низкоамплитудных фиксации, связанных с произвольным «предметным» вниманием к целевому элементу интерфейса (приборам), но и сохранение ситуационной осведомленности и поддержание внимания к быстро меняющейся обстановке. Был предложен индекс соотношения плотности распределения фокальных и амбьентных фиксации. Соотношение между плотностью распределения фокальных и амбьентных фиксации позволяет оценить «потенциал» внимания и выявить уязвимость в распределении внимания оператора. Индекс рассчитывался для фиксации, приходящихся на две конкурирующие «зоны интереса» (Area of Interests, AOI) - показания приборов, необходимых для выполнения конкурирующих задач: поиска наземного объекта и считывания показания скорости.

На рис.3 продемонстрировано изменение доли амбьентных и фокальных фиксации при выполнении полетного задания с нормальных условиях без введения усложнений и при полете под влиянием усложняющих факторов. Подсчет количества фиксации представлен только для области приборной информации. При полете в нормальных условиях значительно преобладают фокальные фиксации, ассоциированные с осознанным вниманием, безошибочным считыванием приборной информации, успешным поиском наземной цели. При полете в условиях усложненной обстановки количество фокальных фиксации сокращается, возрастает количество амбьентных фиксации. Данный эффект максимален при первом предъявлении усложняющего фактора, при повторных полетах и введении других усложняющих факторов этот эффект частично нивелируется. Однако,

при выполнении последнего, пятого полета под влиянием утомления вновь происходит сокращение доли фокальных фиксации - но уже не только за счет увеличения количества амьбентных, "ориентировочных" фиксации, сколько за счет резкого увеличения доли сверхдлинных фиксации.

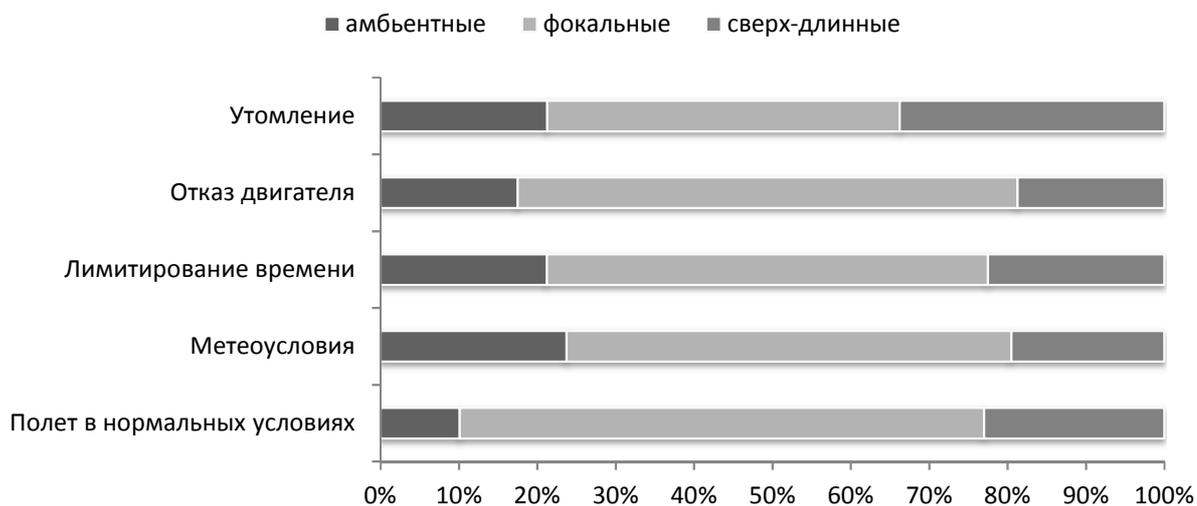


Рис. 3. Соотношение доли амьбентных и фокальных фиксации при выполнении полетов в разных условиях (усредненные данные)

В таблице 1 представлен фрагмент данных, отражающих распределение разного типа фиксации на разных этапах полета. При выполнении этапа совмещенной деятельности обнаруженный эффект изменения соотношения амьбентных и фокальных фиксации проявлен наиболее сильно.

Таблица 1.

**Плотность распределения типов фиксации при выполнении полетов в разных условиях (фрагмент)**

	полет в нормальных условиях			полет в усложненных метеоусловиях			полет с лимитированием времени		
	движение	поиск цели + контроль скорости	посадка	движение	поиск цели + контроль скорости	посадка	движение	поиск цели + контроль скорости	посадка
Общее кол-во фиксаций	234	261	561	301	298	507	244	223	668
Частота									
до 140 мс	0,19	0,13	0,19	0,18	0,16	0,19	0,17	0,14	0,17
200-350	0,44	0,42	0,43	0,44	0,43	0,36	0,43	0,45	0,40
350 и выше	0,20	0,24	0,21	0,22	0,27	0,26	0,23	0,26	0,27
Плотность интервала измерения, мс									
до 140 мс	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
200-350	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003
350 и выше	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Индекс соотношения фокальных амбьентных фиксации /	1,37	1,94	1,36	1,47	1,63	1,15	1,49	1,89	1,38

Отдельной, самостоятельной задачей является определение критериев сдвига индекса соотношения амбьентных и фокальных фиксации как маркера наличия уязвимостей распределения внимания. Отношение плотности фокальных и амбьентных фиксации снижается по мере увеличения когнитивной нагрузки на оператора: в нормальных условиях при выполнении совмещенной деятельности составляет = 1,94, при ухудшении видимости = 1,63; при лимитировании времени = 1,89. Наиболее выраженное снижение индекса совпадает с ранее полученными данными о том, что наиболее сложной для респондентов задачей по данным самоотчетов, вариабельности сердечного ритма и диаметру зрачка был полет при первом предъявлении усложняющего фактора ухудшения видимости (Косьянчук и др., 2022).

В таблице 2 представлены показатели выполнения полетных заданий, отражающие как резульативные показатели качества (длительность выполнения

задания, успешность поиска цели и выдерживания скорости), а также субъективные и психофизиологические показатели оценки уровня психической напряженности операторов. Отмечается достоверное снижение успешности исполнения основной полетной задачи (поиск наземной цели) под воздействием усложняющих факторов. Наиболее пагубно на качестве выполнения основного задания сказывалось внезапное ухудшение метеоусловий. Однако, успешность выполнения конкурирующей задачи (выдерживание требуемой скорости) статистически не различалась при выполнении полетов в нормальных условиях и под воздействием усложняющих факторов. Контроль скорости одинаково страдает как при наличии помех, так и при выполнении полета в нормальных незатрудненных условиях. Данный факт может служить проявлением психологической уязвимости при распределении внимания оператора.

Таблица 2.

**Показатели выполнения полетного задания в разных условиях  
 (однофакторный ANOVA)**

	полет в нормальных условиях	полет в усложненных метеоусловиях	полет с лимитированием времени	полет с отказом двигателя	полет в состоянии утомления	F
Показатели качества выполнения задания						
Длительность выполнения совмещенного полетного задания, мин	02:26,2	03:02,1	03:34,4	02:05,2	01:23,7	3207,07**
Поиск и опознание целевого объекта (кол-во ошибок)	0	3	0	1	0	9,71**
Контроль скорости (кол- во ошибочных действий)	5	7	6	3	5	нет различий
Голосовой доклад о текущей скорости (кол- во пропусков)	4	4	4	6	4	нет различий

Показатели оценки рабочей нагрузки						
Самоотчет о сложности выполнения (кол-во замечаний)	0	5	0	1	1	12,52*
Вариабельность сердечного ритма (ИВР)	422,36	553,24	643,88	486,87	467,30	2,56*
Диаметр зрачка, мм	4,11	3,91	3,92	4,04	4,39	426,95**
Средняя длительность фиксации на конкурирующих АОI, мс	503.52	378.99	400.50	402.79	435.42	37.91**
Индекс Ф/Ам	1,44	1,82	1,29	1,38	2,30	518,56**

Примечание: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$

Выполнение совмещенной деятельности требует оптимального соотношения амьбентных и фокальных фиксации. Доля фокальных фиксации коррелирует с субъективной сложностью выполнения тестового задания. Показатели психической напряженности находятся в тесной взаимосвязи: корреляция диаметра зрачка как маркера когнитивной нагрузки с индексом ВСР составляет -0,76, с индексом Ф/Ам - 0,72.

Таблица 3.

**Взаимосвязи показателей психической напряженности и результативных показателей выполнения полетного задания**

	Коэффициент корреляции, Спирмен			
	Длительность выполнения совмещенного полетного задания, мин	Поиск и опознание целевого объекта	Контроль скорости	Голосовой доклад о текущей скорости
Вариабельность сердечного ритма, ИВР				0,41*
Средняя длительность фиксации, мс:				
- внекабинная обстановка	-0,82***	0,41*		
- показания скорости	-0,54*		0,63**	
Диаметр зрачка, мм				-0,60**

Индекс разницы фокальных / амбьентных фиксаций			0,49*	
Индекс соотношения фокальных / амбьентных фиксаций			0,61**	
Самоотчет о сложности выполнения	0,40*	-0,53**		

Примечание: \*  $\rho \leq 0,05$ , \*\*  $\rho \leq 0,01$ , \*\*\*  $\rho \leq 0,001$

Однако отсутствуют взаимосвязи субъективной сложности тестовых заданий с объективными показателями психической напряженности. Субъективная сложность оказалась тесно связана с успешностью выполнения задания ( $R = -0,53$  при  $\rho \leq 0,05$ ), длительностью выполнения задания ( $R = 0,4$  при  $\rho \leq 0,05$ ), выдерживанием скорости ( $R = 0,42$  при  $\rho \leq 0,05$ ).

По сравнению с другими показателями, предложенный индекс обнаруживает тесные корреляции с успешностью выполнения конкурирующей задачи выдерживания скорости полета (таблица 3). Результаты позволяют использовать данный индекс как удобный и простой показатель для выявления психологических уязвимостей в распределении внимания. Корреляционный анализ показывает, что индекс соотношения плотности распределения типов фиксаций является более удобным маркером проявлений уязвимости в распределении внимания, чем длительность фиксаций. Индекс позволяет выявить преобладающую стратегию переработки зрительной информации и недостатки в распределении внимания, не прибегая к трудоемкому подсчету усредненной длительности фиксации по каждой из зон.

В отличие от усредненного показателя длительности фиксаций или разницы между плотностью фокальных и амбьентных фиксаций (Величковский с соавт., 2013), показано, что соотношение плотностей фиксаций является более чувствительным к изменениям доминирующей стратегии когнитивной обработки зрительной информации и более тесно коррелирует с ошибками пилотирования.

## ВЫВОДЫ

1. При выполнении совмещенной деятельности отмечаются эффекты туннелирования за счет конкуренции задач, усиливающейся при неравнозначности задач и под влиянием усложняющих факторов.
2. Сосредоточение внимания на одной зоне в ущерб внимания к другим сопровождается изменением стратегий обработки зрительной информации, что проявляется в изменении соотношения плотности распределения амьентных и фокальных фиксации.
3. Разработан индекс соотношения плотности распределения фокальных и амьентных фиксации, тесно связанный с успешностью исполнения задач совмещенной деятельности и отражающий возникновение уязвимостей в распределении внимания респондентов. Индекс обладает рядом преимуществ по сравнению с оценкой усредненной длительности фиксации для выявления изменения стратегии анализа визуальной информации.
4. Предложенный индекс может быть использован как на этапе эргономического проектирования интерфейса, так и на этапе выполнения деятельности при разработке биоадаптивных интерфейсов, обеспечивающих оперативную подстройку отображаемой информации индикаторов и шкал в зависимости от динамики переключения взора оператора.

## ЛИТЕРАТУРА

*Бабаева Ю. Д., Ротова Н. А., Сабашов П.А.* Объективные характеристики мыслительного процесса в условиях ограничения времени // Пятая международная конференция по когнитивной науке: тезисы докладов: в 2 томах, Калининград, 18–24 июня 2012 года / Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований, Центр развития межличностных коммуникаций, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Правительство Калининградской области. Том 2. Калининград: Standartu Spaustuve, 2012. С. 225–227.

- Барабанщиков В.А., Жегалло А.В.* Регистрация и анализ направленности взора человека. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2014.
- Величковский Б.Б., Румянцев М.А., Морозов М.А.* Новый подход к проблеме «прикосновения Мидаса»: идентификация зрительных команд на основе выделения фокальных фиксации // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2013. №3. С.33–45.
- Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. М.: Смысл, Издательский центр «Академия», 2006.
- Величковский Б.М.* Перспективные направления когнитивных исследований // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Выпуск 9 / Под редакцией А.А. Обознова, А.Л. Журавлева. М.: Институт психологии РАН. 2020. С. 15–36. DOI: 10.38098/ergo.2020.022
- Завалишина Д.Н.* К проблеме формирования стратегии при решении дискретных оперативных задач // Вопросы психологии. 1965. № 5. С. 71–81.
- Зибарев Е.В., Бухтияров И.В., Кравченко О.К., Астанин П.А.* Разработка новой концепции оценки напряженности труда пилотов гражданской авиации // Анализ риска здоровью. 2022. №2. С. 73–87. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07
- Зинченко В.П.* Движения глаз и формирование зрительного образа // Вопросы психологии. 1958. № 5. С. 63–76.
- Канеман Д.* Внимание и усилие / Под ред. А.Н. Гусева. Пер. И. Уточкин. Москва: Смысл, 2006.
- Костин А.Н., Голиков Ю.Я.* Концептуальные основания совместного анализа ЭОГ и КГР для исследования психической регуляции деятельности и функциональных состояний // Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы / В.А. Барабанщикова. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2010. С. 515–519.
- 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/igran.opwr\_2022\_25\_4\_010.
- Пономаренко В.А.* Созидательная психология. М.-Воронеж: МПСИ. МОДЭК, 2000.
- Пучкова А.Н., Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б.* Специфика динамики размера зрачка в процессе работы с арифметическими задачами // Социально-экологические технологии. 2017. №3. С. 80–91.

- Тихомиров О.К.* Структура мыслительной деятельности человека. М. Издательство Московского университета, 1969.
- Ярбус А. Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.
- Abu-Alqumsan M., Kapeller C., Hintermüller C., Guger C., Peer A.* Invariance and variability in interaction error-related potentials and their consequences for classification. // *Journal of Neural Engineering*, 2017. Volume 14. №6. 066015. DOI: 10.1088/1741-2552/aa8416
- Babu M.D., Jeevithashree D.V., Prabhakar G., Saluja K.S., Pashilkar A.A., Biswas P.* Estimating Pilots' Cognitive Load From Ocular Parameters Through Simulation and In-Flight Studies // *Journal of Eye Movement Research*, 2019. Volume 12. №3. 10.16910/jemr.12.3.3. DOI: 10.16910/jemr.12.3.3
- Bafna T., Bækgaard P., Hansen J.P.* Mental fatigue prediction during eye-typing // *PLoS ONE*, 2021. Volume 16. №2. e0246739. DOI: 10.1371/journal.pone.0246739
- Benedetto S., Pedrotti M., Minin L., Baccino T., Re A., Montanari R.* Driver workload and eye blink duration // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2011. Volume 14. №3. pp. 199–208. DOI: 10.1016/j.trf.2010.12.001
- Bessonova, Y.V., Oboznov, A.A.* Eye movements and lie detection // *Proceedings of the 1st International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2018): Integrating People and Intelligent Systems, 7-9 January 2018, Dubai, United Arab Emirates / W. Karwowski and T. Ahram (eds.). Cham. Springer, 2018. pp. 149–155. DOI: 10.1007/978-3-319-73888-8\_25*
- Brockmole J., Irwin D.E.* Eye movements and the integration of visual memory and visual perception // *Perception & psychophysics*, 2005. №67. pp. 495–512. DOI: 10.3758/BF03193327
- Di Stasi L.L., Renner R., Catena A., Cañas J.J., Velichkovsky B.M., Pannasch S.* Towards a driver fatigue test based on the saccadic main sequence: A partial validation by subjective report data // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2012. Volume 21, № 1. pp. 122–133. DOI: 10.1016/j.trc.2011.07.002
- DiGirolamo G.J., Patel N., Blaukopf C.* Arousal facilitates involuntary eye movements // *Experimental Brain Research*, 2016. Volume 234. №7. pp. 1967–1976. DOI: 10.1007/s00221-016-4599-3
- Goldstein R., Bauer L.O., Stern J.A.* Effect of task difficulty and interstimulus interval on blink parameters // *International Journal of Psychophysiology*. 1992. Volume 13. №2. pp. 111–117. DOI: 10.1016/0167-8760(92)90050-1

- Henderson J.M., Ferreira, F.* Scene perception for psycholinguists // The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world / J.M. Henderson, F. Ferreira (Eds.). New York: Psychology Press, 2004. pp 1–58.
- Henderson J.M., Choi W., Luke S.G., Desai R.H.* Neural correlates of fixation duration in natural reading: Evidence from fixation-related fMRI // *NeuroImage*, 2015. Volume 119. pp. 390–397. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.06.072
- Hirt C., Eckard M., Kunz A.M.* Stress generation and non-intrusive measurement in virtual environments using eye tracking // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2020. Volume 11. №3. pp. 5977–5989. DOI: 10.1007/s12652-020-01845-y
- Hsieh L., Seaman S., Young R.* Eye Glance Analysis of the Surrogate Tests for Driver Distraction // *Proceedings of the Eighth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 22-25 June 2015, Salt Lake City, UT. Iowa: University of Iowa, 2015. pp. 141–147. DOI: 10.17077/drivingassessment.1563
- Iatsun I., Larabi M., Fernandez-Maloigne C.* Investigation of visual fatigue/discomfort generated by S3D video using eye-tracking data // *Proceedings of the SPIE 8648, Stereoscopic Displays and Applications XXIV*, 4-6 February 2013. USA California / A.J. Woods, N.S. Holliman, G.E. Favalora (Eds.). Burlingame: IS&T/SPIE Electronic Imaging, 2013. pp. 803–864. DOI: 10.1117/12.2008206
- Ingre M., Akerstedt T., Peters B., Anund A., Kecklund G., Pickles A.* Subjective sleepiness and accident risk avoiding the ecological fallacy // *Journal of Sleep Research*, 2006. Volume 15. № 2. pp. 142–148. DOI: 10.1111/j.1365-2869.2006.00517.x
- Jandziol A.K., Prabhu M., Carpenter R., Jones J.* Blink duration as a measure of low-level anaesthetic sedation // *European journal of anaesthesiology*, 2001. Volume 18. № 7. pp. 476–484. DOI: 10.1046/j.1365-2346.2001.00866.x
- Just M.A., Carpenter P.A.* A theory of reading: From eye fixations to comprehension // *Psychological Review*, 1980. Volume 87. №4 pp. 329–354. DOI: 10.1037/0033-295X.87.4.329
- Just M.A., Carpenter P.A.* Eye fixations and cognitive processes // *Cognitive Psychology*. 1976. Volume 8. № 4. pp. 441–480. DOI: 10.1016/0010-0285(76)90015-3
- Kandil F. I., Rotter A., Lappe M.* Car drivers attend to different gaze targets when negotiating closed vs. open bends // *Journal of Vision*. 2010. Volume 10. №4. pp. 1–11. DOI: 10.1167/10.4.24
- Lynch K.M., Banks V.A., Roberts A.P., Radcliffe S., Plant K.L.* Maritime Autonomous Surface Ships: Can we learn from Unmanned Aerial Vehicle incidents using the

Perceptual Cycle Model? // *Ergonomics*, 2022. Volume 66. №4. pp. 772–790.  
DOI: 10.1080/00140139.2022.2126896

*Maffei A., Angrilli A.* Spontaneous eye blink rate: An index of dopaminergic component of sustained attention and fatigue // *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 2018. Volume 123. pp. 58–63. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.11.009

*Masi G., Amprimo G., Ferraris C., Priano L.* Stress and Workload Assessment in Aviation — A Narrative Review // *Sensors*, 2023. Volume 23. №7. p. 3556. DOI: 10.3390/s23073556

*Meghanathan R.N., van Leeuwen C., Nikolaev A.R.* Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing // *Frontiers in human neuroscience*, 2015. Volume 8. p. 1063. DOI: 10.3389/fnhum.2014.01063

*Milner A.D., Goodale M.A.* Two visual systems re-viewed // *Neuropsychologia*, 2008. Volume 46. №3. pp. 774–785. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005

*Pannasch S., Schulz J., Velichkovsky B.* Explaining visual fixation durations in scene perception: Are there indeed two distinct groups of fixations? // *Journal of Vision*, 2010. Volume 10. №7. p. 138. DOI: 10.1167/10.7.138

*Reyes M.L., Lee J.D.* Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2008. Volume 11. №6. pp. 391–402. DOI: 10.1016/j.trf.2008.03.004

*Schicatano E.J.* The Effects of Attention on the Trigeminal Blink Reflex // *Perceptual and motor skills*, 2016. Volume 122. №2. pp. 444–451. DOI: 10.1177/0031512516640673

*Schleicher R., Galley N., Briest S., Galley L.* Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: Looking tired? // *Ergonomics*, 2008. Volume 51. №7. pp. 982–1010. DOI: 10.1080/00140130701817062

*Siegle G., Ichikawa N., Steinhauer S.* Blink before and after you think: Blinks occur prior to and following cognitive load indexed by pupillary responses // *Psychophysiology*, 2008. Volume 45. №5. pp. 679–687. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2008.00681.x

*Sodhi M., Reimer B., Llamazares I.* Glance analysis of driver eye movements to evaluate distraction // *Behavior research methods, instruments, & computers: a journal of the Psychonomic Society, Inc*, 2002. Volume 34. №4. pp. 529–538. DOI: 10.3758/bf03195482

- Stern J.A., Boyer D., Schroeder D.* Blink rate: a possible measure of fatigue // Human Factors, 1994. Volume 36. №2. pp. 285–297. DOI: 10.1177/001872089403600209
- Talanow T., Kasparbauer A.M., Steffens M., Meyhöfer I., Weber B., Smyrnis N., Ettinger U.* Facing competition: Neural mechanisms underlying parallel programming of antisaccades and prosaccades // Brain and cognition, 2016. Volume 107. pp. 37–47. DOI: 10.1016/j.bandc.2016.05.006
- Tanaka Y., Yamaoka K.* Blink Activity and Task Difficulty // Perceptual and Motor Skills, 1993. Volume 77. №1. pp. 55–66. DOI: 10.2466/pms.1993.77.1.55
- Tarnowski P., Kołodziej M., Majkowski A., Rak R.J.* Eye-Tracking Analysis for Emotion Recognition // Computational Intelligence and Neuroscience, 2020. Volume 2020, pp. 1–13. DOI: 10.1155/2020/2909267
- Tichon J., Wallis G.M., Riek S., Mavin T.J.* Physiological measurement of anxiety to evaluate performance in simulation training // Cognition. Technology & Work, 2014. Volume 16. pp. 203–210. DOI: 10.1007/s10111-013-0257-8
- Unema P., Pannasch S., Joos M., Velichkovsky B.M.* Time course of information processing during scene perception: The relationship between saccade amplitude and fixation duration // Visual Cognition, 2005. Volume 12. №3. pp. 473–494. DOI: 10.1080/13506280444000409
- Valtchanov D., Ellard C.G.* Cognitive and affective responses to natural scenes: Effects of low level visual properties on preference, cognitive load and eye-movements // Journal of Environmental Psychology, 2015. Volume 43. pp. 184–195. DOI: 10.1016/j.jenvp.2015.07.001
- Winter J. de, Happee R., Martens M., Stanton N.* Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014. Volume 27. №8. pp. 196–217. DOI: 10.1016/j.trf.2014.06.016
- Yamanaka K., Kawakami M.* Convenient Evaluation of Mental Stress With Pupil Diameter // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2009. Volume 15. №4. pp. 447–450. DOI: 10.1080/10803548.2009.11076824
- Young R., Hsieh L., Seaman, S.* The Tactile Detection Response Task: Preliminary Validation for Measuring the Attentional Effects of Cognitive Load // Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design. 17-20 June 2013, Bolton Landing, New York. USA. Iowa: University of Iowa, 2013. Volume 7. pp. 71–77. DOI: 10.17077/drivingassessment.1469

- Young R.A.* Event detection: the second dimension of driver performance for visual-manual tasks // SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems, 2012. Volume 5. №1. pp. 297–316. DOI: 10.4271/2012-01-0964
- Zagermann J., Pfeil U., Reiterer H.* Measuring Cognitive Load using Eye Tracking Technology in Visual Computing // Proceedings of the Sixth Workshop on Beyond Time and Errors on Novel Evaluation Methods for Visualization (BELIV '16) 24 October 2016 Baltimore, MD, USA / M. Sedlmair, P. Isenberg, T. Isenberg, N. Mahyar, H. Lam (Eds.). New York: Association for Computing Machinery, 2016. pp. 78–85. DOI: 10.1145/2993901.2993908
- Zhao L., Li R., Zheng W., Lu B.* Classification of Five Emotions from EEG and Eye Movement Signals: Complementary Representation Properties / Proceedings of the 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER 2019), 20-23 March 2019. San Francisco, CA, USA. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2019. pp. 611–614. DOI: 10.1109/NER.2019.8717055
- Zimmerer C., Nelius T., Matthiesen S.* Using Eye Tracking to Measure Cognitive Load of Designers in Situ // Proceedings of the Design Computing and Cognition '22. 4-6 July 2022. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK / J.S. Gero (ed). Cham: Springer, 2022. pp. 481–495. DOI: 10.1007/978-3-031-20418-0\_29

Статья поступила в редакцию: 11.12. 2023. Статья опубликована 03.01.2024

## AN INDEX OF THE FOCAL AND AMBIENT FIXATIONS RATIO IN DIVIDED ATTENTION ASSESSMENT

**Yulia V. Bessonova\***, **Alexander A. Oboznov\*\***

*\* 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*

The number of accidents remains high regardless of improving technologies. Automation creates new risks associated with information load, high requirements for an operator. A human factors problems include perception and identification, distribution of attention, situational awareness. In accordance with two streams hypothesis, different brain systems are involved with of spatial-substantive visual information processing: identification (ventral stream) and location (dorsal stream). An fMRI data confirmed theoretical statements for the relationship between ambient/focal visual fixations and activation of the dorsal/ventral streams. The ambient mode provides orientation; it's characterized by short fixations and high-amplitude saccades, while the focal mode is associated with conscious attention and identification, long fixations and short saccades. The hypothesis suggests that concurrent tasks actualize the interface vulnerability associated with attention, manifested in operators' errors and cognitive load. A typical flight multitasking is the combination of piloting and spatial orientation that transform into providing control and situational awareness, while using flight navigation interface. Methods: The study includes 2 tasks simultaneously (speed control and target search) with eye-movement registration. The study consists of 5 series; the same flight task was performed in complicating conditions: standard flight; severe weather conditions; time limit, engine failure, operator's fatigue. Nonhomogeneous fixation duration distributions have been obtained with clusters of ultrashort compensating fixations (< 90 ms); short ambient fixations 90-140 ms; prefocal fixations 140-200 ms; focal fixations 200-350 ms, extra-long fixations. Focal fixation relates to enhanced efficiency in multitasking: successful search and target identification, correct airspeed indicator reading, keeping within the speed limit. Task concurrency is followed by expected effect of tunnel vision, with priority attention to searching and target identification, as reflected in increased fixation duration to relevant area by reducing fixation duration to other areas. An index has been proposed to search for vulnerabilities associated with attentional shift in

concurrent tasks performance. Index is a ratio of probability density of focal fixations to ambient fixations. In contrast to average fixation duration or focal-ambient subtraction, the index is more sensitive to changes in visual information cognitive processing, it closely correlates with operator's errors.

*Key words:* psychological vulnerabilities, attention, divided attention, visual perception, operator, combining activity, index, fixation.

## REFERENCES

- Babayeva, Yu.D., Rotova, N.A., & Sabadosh, P.A. (2012). Ob'yektivnyye kharakteristiki myslitel'nogo protsessa v usloviyakh ogranicheniya vremeni [Objective characteristics of the thinking process under time constraints]. Proceedings from *Pyataya mezhdunarodnaya konferentsiya po kognitivnoy nauke, Kaliningrad, 18–24 iyunya 2012 goda [Fifth International Conference on Cognitive Science, Kaliningrad, June 18–24, 2012]*. Vol.1. (pp. 225–227). Kaliningrad: Standartu Spaustuve Publ. (in Russian).
- Barabanshchikov, V.A., & Zhegallo, A.V. (2014). *Registratsiya i analiz napravlenosti vzora cheloveka [Registration and analysis of the direction of human gaze]*. Moscow, «Institut psikhologii RAN» Publ. (in Russian).
- Velichkovsky, B.B., Rumyantsev, 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 identification of focal fixations]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya [Bulletin of Moscow University. Series 14. Psychology]*. 3. 33–45. (in Russian).
- Velichkovsky, B.M. (2006). *Kognitivnaya nauka: Osnovy psikhologii poznaniya [Cognitive science: Fundamentals of cognitive psychology]*. Volumes 1-2 Moscow: Smysl Publ., Izdatel'skiy tsentr «Akademiya».
- Velichkovsky, B.M. (2020). Perspektivnyye napravleniya kognitivnykh issledovaniy [Promising directions of cognitive research]. In *Aktual'nyye problemy psikhologii truda, inzhenernoy psikhologii i ergonomiki [Current problems of labor psychology, engineering psychology and ergonomics]*. A.A. Oboznov, A.L. Zhuravlev (Eds.). Vol.9. (pp. 15–36.). Moscow: «Institut psikhologii RAN» Publ. (In Russian). DOI: 10.38098/ergo.2020.022
- Zavalishina, D.N. (1965). K probleme formirovaniya strategii pri reshenii diskretnykh operativnykh zadach [To the problem of strategy formation when solving discrete

- operational problems]. *Voprosy psikhologii [Psychology issues]*. 5. 71–81. (in Russian).
- Zibarev, Ye.V., Bukhtiyarov, I.V., Kravchenko, O.K., & Astanin, P.A. (2022). Razrabotka novoy kontseptsii otsenki napryazhennosti truda pilotov grazhdanskoj aviatsii [Development of a new concept for assessing the work intensity of civil aviation pilots]. *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2. 73–87. (in Russian). DOI 10.21668/health.risk/2022.2.07
- Zinchenko, V.P. (1958). Dvizheniya glaz i formirovaniye zritel'nogo obraza [Eye movements and the formation of a visual image]. *Voprosy psikhologii [Psychology issues]*. 5. 63–76. (in Russian).
- Kahneman, D. (2006). *Vnimanije i usilije [Attention and Effort]*. A.N. Gusev (Ed.). I. Utochkin (Trans.). Moscow: Smysl Publ. (in Russian).
- Kostin, A.N., & Golikov, Yu.Ya. (2010). Kontseptual'nyye osnovaniya sovmestnogo analiza EOG i KGR dlya issledovaniya psikhicheskoy reguljatsii deyatel'nosti i funktsional'nykh sostoyanij [Conceptual basis for joint analysis of EOG and GSR for the study of mental regulation of activity and functional states]. In *Eksperimental'naya psikhologiya v Rossii: traditsii i perspektivy [Experimental psychology in Russia: traditions and perspectives]*. V.A. Barabanshnikov (Ed.). (pp. 515–519). Moscow: «Institut psihologii RAN» Publ. (in Russian).
- 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 Rossiyskoj 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.opwr\_2022\_25\_4\_010
- Ponomarenko, V.A. (2000). *Sozidatel'naya psikhologiya [Creative psychology]*. Moscow-Voronezh: MPSI. MODEK. (in Russian).
- Puchkova, A.N., Tkachenko, O.N., & Dorokhov, V.B. (2017). Spetsifika dinamiki razmera zrachka v protsesse raboty s arifmeticheskimi zadachami [Specifics of the dynamics of pupil size in the process of working with arithmetic problems]. *Sotsial'no-ekologicheskiye tekhnologii [Social and environmental technologies]*. 3. 80–91. (in Russian).
- Tikhomirov, O.K. (1969). *Struktura myslitel'noj deyatel'nosti cheloveka [The structure of human mental activity]*. Moscow: Moskovskij universitet Publ. (in Russian).

- Yarbus, A.L. (1965). *Rol' dvizheniy glaz v protsesse zreniya [The role of eye movements in vision]*. Moscow: Nauka. (in Russian).
- Abu-Alqumsan, M., Kapeller, C., Hintermüller, C., Guger, C., & Peer, A. (2017). Invariance and variability in interaction error-related potentials and their consequences for classification. *Journal of Neural Engineering*. 14(6). 066015. DOI: 10.1088/1741-2552/aa8416
- Babu, M.D., Jeevithashree, D.V., Prabhakar, G., Saluja, K.S., Pashilkar, A.A., & Biswas, P. (2019). Estimating Pilots' Cognitive Load From Ocular Parameters Through Simulation and In-Flight Studies. *Journal of Eye Movement Research*. 12(3). 10.16910/jemr.12.3.3. DOI: 10.16910/jemr.12.3.3
- Bafna, T., Bækgaard, P., & Hansen, J.P. (2021). Mental fatigue prediction during eye-typing. *PLoS ONE*. 16(2): e0246739. DOI: 10.1371/journal.pone.0246739
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T., Re, A., & Montanari, R. (2011). Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 14(3). 199–208. DOI: 10.1016/j.trf.2010.12.001
- Bessonova, Y.V., & Oboznov, A.A. (2018). Eye movements and lie detection. *Proceedings of the 1st International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2018): Integrating People and Intelligent Systems, January 7-9, 2018, Dubai, United Arab Emirates*. W. Karwowski, T. Ahram (eds.). 722. 149–155. Cham. Springer DOI: 10.1007/978-3-319-73888-8\_25
- Brockmole, J., & Irwin, D.E. (2005). Eye movements and the integration of visual memory and visual perception. *Perception & psychophysics*. 67. 495–512. DOI: 10.3758/BF03193327
- Di Stasi, L.L., Renner, R., Catena, A., Cañas, J.J., Velichkovsky, B.M., & Pannasch, S. (2012). Towards a driver fatigue test based on the saccadic main sequence: A partial validation by subjective report data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 21(1). 122–133. DOI: 10.1016/j.trc.2011.07.002
- DiGirolamo, G.J., Patel, N., & Blaukopf, C. (2016). Arousal facilitates involuntary eye movements. *Experimental Brain Research*. 234(7). 1967–1976. DOI: 10.1007/s00221-016-4599-3
- Goldstein, R., Bauer, L. O., & Stern, J. A. (1992). Effect of task difficulty and interstimulus interval on blink parameters. *International Journal of Psychophysiology*. 13(2). 111–117. DOI: 10.1016/0167-8760(92)90050-1
- Henderson, J.M., & Ferreira, F. (2004). Scene perception for psycholinguists. In *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world*. J.M. Henderson, and F. Ferreira (Eds.). (pp 1–58). New York: Psychology Press.

- Henderson, J.M., Choi, W., Luke, S.G., & Desai, R.H. (2015). Neural correlates of fixation duration in natural reading: Evidence from fixation-related fMRI. *NeuroImage*. 119. 390–397. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.06.072
- Hirt, C., Eckard, M., & Kunz, A.M. (2020). Stress generation and non-intrusive measurement in virtual environments using eye tracking. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 11(3). 5977–5989. DOI: 10.1007/s12652-020-01845-y
- Hsieh, L., Seaman, S., & Young, R., (2015) “Eye Glance Analysis of the Surrogate Tests for Driver Distraction”. *Proceedings of the Eighth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 22-25 June 2015, Salt Lake City, UT*. 141–147. Iowa: University of Iowa Publ. DOI: 10.17077/drivingassessment.1563
- Iatsun, I., Larabi, M., & Fernandez-Maloigne, C. (2013). Investigation of visual fatigue/discomfort generated by S3D video using eye-tracking data. *Proceedings of the SPIE 8648, Stereoscopic Displays and Applications XXIV, 4-6 February 2013, USA California*. A.J. Woods, N.S. Holliman, G.E. Favalora (Eds.). 803–864. Burlingame: IS&T/SPIE Electronic Imaging Publ. DOI: 10.1117/12.2008206
- Ingre, M., Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., Kecklund, G., & Pickles, A. (2006). Subjective sleepiness and accident risk avoiding the ecological fallacy. *Journal of Sleep Research*. 15(2). 142–148. DOI: 10.1111/j.1365-2869.2006.00517.x
- Jandziol, A.K., Prabhu, M., Carpenter, R., & Jones, J. (2001). Blink duration as a measure of low-level anaesthetic sedation. *European journal of anaesthesiology*. 18(7). 476–484. DOI: 10.1046/j.1365-2346.2001.00866.x
- Just, M.A., & Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*. 87(4). 329–354. DOI: 10.1037/0033-295X.87.4.329
- Just, M.A., & Carpenter, P.A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*. 8(4). 441–480. DOI: 10.1016/0010-0285(76)90015-3
- Kandil, F.I., Rotter, A., & Lappe, M. (2010). Car drivers attend to different gaze targets when negotiating closed vs. open bends. *Journal of Vision*. 10(4). 1–11. DOI: 10.1167/10.4.24
- Lynch, K.M., Banks, V.A., Roberts, A.P., Radcliffe, S., & Plant, K.L. (2022). Maritime Autonomous Surface Ships: Can we learn from Unmanned Aerial Vehicle incidents using the Perceptual Cycle Model? *Ergonomics*. 66(4). 772–790. DOI: 10.1080/00140139.2022.2126896

- Maffei, A., & Angrilli, A. (2018). Spontaneous eye blink rate: An index of dopaminergic component of sustained attention and fatigue. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 123. 58–63. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.11.009
- Masi, G., Amprimo, G., Ferraris, C., & Priano, L. (2023). Stress and Workload Assessment in Aviation-A Narrative Review. *Sensors*. 23(7). 3556. DOI: 10.3390/s23073556
- Meghanathan, R.N., van Leeuwen, C., & Nikolaev, A.R. (2015). Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing. *Frontiers in human neuroscience*. 8. 1063. DOI: 10.3389/fnhum.2014.01063
- Milner, A.D., & Goodale, M.A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*. 46(3). 774–785. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005
- Pannasch, S., Schulz, J. & Velichkovsky, B. (2010). Explaining visual fixation durations in scene perception: Are there indeed two distinct groups of fixations? *Journal of Vision*. 10(7). 138. DOI: 10.1167/10.7.138
- Reyes, M.L., & Lee, J.D. (2008). Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 11(6). 391–402. DOI: 10.1016/j.trf.2008.03.004
- Schicatano E.J. (2016). The Effects of Attention on the Trigeminal Blink Reflex. *Perceptual and motor skills*. 122(2). 444–451. DOI: 10.1177/0031512516640673
- Schleicher, R., Galley, N., Briest, S., & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: Looking tired? *Ergonomics*. 51(7). 982–1010. DOI: 10.1080/00140130701817062
- Siegle, G., Ichikawa, N., & Steinhauer, S. (2008). Blink before and after you think: Blinks occur prior to and following cognitive load indexed by pupillary responses. *Psychophysiology*. 45(5). 679–687. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2008.00681.x
- Sodhi, M., Reimer, B., & Llamazares, I. (2002). Glance analysis of driver eye movements to evaluate distraction. *Behavior research methods, instruments, & computers: a journal of the Psychonomic Society, Inc*. 34(4). 529–538. DOI: 10.3758/bf03195482
- Stern, J.A., Boyer, D., & Schroeder, D. (1994). Blink rate: a possible measure of fatigue. *Human Factors*. 36(2). 285–297. DOI: 10.1177/001872089403600209
- Talanow, T., Kasparbauer, A.M., Steffens, M., Meyhöfer, I., Weber, B., Smyrnis, N., & Ettinger, U. (2016). Facing competition: Neural mechanisms underlying parallel programming of antisaccades and prosaccades. *Brain and cognition*. 107. 37–47. DOI: 10.1016/j.bandc.2016.05.006

- Tanaka, Y., & Yamaoka, K. (1993). Blink Activity and Task Difficulty. *Perceptual and Motor Skills*. 77(1). 55–66. DOI: 10.2466/pms.1993.77.1.55
- Tarnowski, P., Kołodziej, M., Majkowski, A., & Rak, R.J. (2020). Eye-Tracking Analysis for Emotion Recognition. *Computational Intelligence and Neuroscience*. vol. 2020. pp. 1–13. DOI: 10.1155/2020/2909267
- Tichon, J., Wallis, G.M., Riek, S., & Mavin, T.J. (2014). Physiological measurement of anxiety to evaluate performance in simulation training. *Cognition, Technology & Work*. 16. 203–210. DOI: 10.1007/s10111-013-0257-8
- Unema, P., Pannasch, S., Joos, M., & Velichkovsky, B.M. (2005). Time course of information processing during scene perception: The relationship between saccade amplitude and fixation duration. *Visual Cognition*. 12(3). 473–494. DOI: 10.1080/13506280444000409
- Valtchanov, D., & Ellard, C.G. (2015). Cognitive and affective responses to natural scenes: Effects of low level visual properties on preference, cognitive load and eye-movements. *Journal of Environmental Psychology*. 43. 184–195. DOI: 10.1016/j.jenvp.2015.07.001
- Winter, J. de, Happee, R., Martens, M., & Stanton, N. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 27(8). 196–217. DOI: 10.1016/j.trf.2014.06.016
- Yamanaka, K., & Kawakami, M. (2009). Convenient Evaluation of Mental Stress With Pupil Diameter. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 15(4). 447–450. DOI: 10.1080/10803548.2009.11076824
- Young, R., Hsieh, L., & Seaman, S. (2013). The Tactile Detection Response Task: Preliminary Validation for Measuring the Attentional Effects of Cognitive Load. Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design. 17-20 June 2013, Bolton Landing, New York, USA. 71–77. Iowa: University of Iowa Publ. DOI: 10.17077/drivingassessment.1469
- Young, R.A. (2012). Event detection: the second dimension of driver performance for visual-manual tasks. *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*. 5(1). 297–316. DOI:10.4271/2012-01-0964
- Zagermann, J., Pfeil, U., & Reiterer, H. (2016). Measuring Cognitive Load using Eye Tracking Technology in Visual Computing. In *Proceedings of the Sixth Workshop on Beyond Time and Errors on Novel Evaluation Methods for Visualization (BELIV '16) 24 October 2016 Baltimore, MD, USA*. M. Sedlmair, P. Isenberg, T. Isenberg,

N. Mahyar, H. Lam (Eds.). 78–85. New York: Association for Computing Machinery Publ. DOI: 10.1145/2993901.2993908

Zhao L., Li R., Zheng W., Lu B. (2019) Classification of Five Emotions from EEG and Eye Movement Signals: Complementary Representation Properties. *Proceedings of the 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER 2019), 20-23 March 2019. San Francisco, CA, USA.* 611–614. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Publ. DOI: 10.1109/NER.2019.8717055

Zimmerer, C., Nelius, T., Matthiesen, S. (2023). Using Eye Tracking to Measure Cognitive Load of Designers in Situ. In: *Proceedings of the Design Computing and Cognition '22. 4-6 July 2022. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK.* J.S. Gero (ed). pp. 481–495. DOI: 10.1007/978-3-031-20418-0\_29

The article was received: 11.12. 2023. Published online: 03.01.2024

Библиографическая ссылка на статью:

Бессонова Ю.В., Обознов А.А. Индекс соотношения фокальных и амьбентных фиксаций при оценке распределения внимания // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда, 2023. Т. 8. № 4. С. 180–222. DOI: 10.38098/ipran.opwp\_2023\_29\_4\_008

Bessonova, Y.V., Oboznov, A.A. (2023). Indeks sootnoshenija fokal'nyh i amb'entnyh fiksacij pri ocenke raspredelenija vnimanija [An index of the focal and ambient fixations ratio in divided attention assessment]. *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].* 8(4). 180–222. DOI: 10.38098/ipran.opwp\_2023\_29\_4\_008

Адрес статьи: <http://work-org-psychology.ru/engine/documents/document960.pdf>