

Научная статья

УДК 159.9

ИЗМЕРЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МНОГООКОННЫМИ ИНТЕРФЕЙСАМИ

Хохлова Лариса Александровна, Кандидат психологических наук, Доцент, Северо-Восточный государственный университет, Россия, Магадан, Доцент кафедры общей и клинической психологии, khokhlova_larisa@yandex.ru;

Павлов Кирилл Евгеньевич, Аспирант, Северо-Восточный государственный университет, Россия, Магадан, Аспирант кафедры общей и клинической психологии, pavlov_ke@yandex.ru

Аннотация. Взаимодействие операторов с многооконными интерфейсами сопровождается повышенными требованиями к распределению внимания и управлению ресурсами рабочей памяти, что формирует специфическую структуру когнитивной нагрузки. Архитектурная рассредоточенность информационных модулей инициирует дополнительные затраты на визуальный поиск и переключение контекста, уменьшая точность выполнения профессиональных задач. Цель исследования заключается в операционализации компонентов когнитивной нагрузки и разработке комплексной методики диагностики функционального состояния оператора при навигации в распределённых визуальных средах. Основные результаты: проанализировано влияние конфигурации рабочего пространства на физиологические и поведенческие маркеры напряжения; установлена дифференцированная чувствительность субъективных шкал относительно инструментальных показателей вариабельности сердечного ритма и спектральных характеристик электроэнцефалограммы; выявлены критические параметры количества одновременно открытых окон, при превышении которых фиксируется переход к компенсаторному режиму регуляции. Выводы: интеграция объективных и субъективных индикаторов обеспечивает надёжную валидизацию

диагностических процедур и формирует эмпирическую базу для оптимизации архитектуры цифровых рабочих мест. Полученные данные обосновывают необходимость внедрения адаптивных принципов логической группировки информационных модулей в стандарты проектирования интерфейсов для снижения внешней когнитивной нагрузки и поддержания устойчивой работоспособности специалистов в условиях многозадачной деятельности.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка; многооконные интерфейсы; инженерная психология; физиологические маркеры; валидизация субъективных шкал; когнитивная эргономика; оптимизация рабочего пространства.

Original article

MEASURING COGNITIVE LOAD WHEN INTERACTING WITH MULTI-WINDOW INTERFACES

Larisa Alexandrovna Khokhlova, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Northeastern State University, Magadan, Russia, Associate Professor of the Department of General and Clinical Psychology, khokhlova_larisa@yandex.ru;

Kirill Pavlov, PhD Student, Northeastern State University, Magadan, Russia, PhD Student, Department of General and Clinical Psychology, pavlov_ke@yandex.ru

Abstract. Operator interaction with multi-window interfaces places increased demands on attention and working memory management, which creates a specific cognitive load structure. The architectural dispersion of information modules imposes additional costs on visual search and context switching, reducing the accuracy of professional task performance. The aim of this study is to operationalize cognitive load components and develop a comprehensive method for diagnosing the operator's functional state when navigating in distributed visual environments. Key results: The influence of workspace configuration on physiological and behavioral markers of stress was analyzed; the differentiated sensitivity of subjective scales relative to instrumental indicators of heart rate variability and the spectral characteristics of the

electroencephalogram was established; and critical parameters for the number of simultaneously open windows were identified, exceeding which a transition to a compensatory regulatory mode is recorded. Conclusions: The integration of objective and subjective indicators ensures reliable validation of diagnostic procedures and forms an empirical basis for optimizing the architecture of digital workplaces. The obtained data substantiate the need to introduce adaptive principles of logical grouping of information modules into interface design standards to reduce external cognitive load and maintain the sustainable performance of specialists in multitasking conditions.

Keywords: cognitive load; multi-window interfaces; engineering psychology; physiological markers; validation of subjective scales; cognitive ergonomics; workspace optimization.

Введение. Многооконные интерфейсы утвердились в качестве базового инструмента организации информационных пространств, однако их архитектура формирует особые требования к распределению внимания и управлению ресурсами психики. Увеличение количества параллельно открытых областей приводит к возрастанию частоты переключений между задачами, что непосредственно влияет на точность выполнения операций и устойчивость функционального состояния специалиста. В условиях постоянной информационной насыщенности возникает необходимость в системном анализе механизмов, определяющих адаптацию человека к подобным условиям взаимодействия [1].

Теоретическое осмысление указанных процессов строится на положениях инженерной психологии и когнитивной эргономики, рассматривающих работу оператора с технической системой как непрерывный процесс согласования психических функций с параметрами интерфейса. Когнитивная нагрузка выступает интегральным показателем, фиксирующим соотношение между структурными требованиями задачи и доступными объёмами рабочей памяти, а также исполнительного контроля [2]. При навигации между несколькими окнами

происходит фрагментация информационного поля, что инициирует дополнительные затраты на обновление и удержание актуальных данных [3].

Оценка рассматриваемого параметра сопряжена с методологическими ограничениями, обусловленными многокомпонентной структурой изучаемого явления. Субъективные методики фиксируют осознанное восприятие трудности, однако не отражают скрытые вегетативные реакции и автоматизированные этапы обработки сигналов. Инструментальная регистрация параметров зрительного внимания, вариабельности сердечного ритма и электроэнцефалографических паттернов обеспечивает более объективные данные, но их интерпретация в контексте многооконного взаимодействия требует разработки специализированных аналитических процедур. Действующие протоколы игнорируют временную динамику переходов между визуальными областями, что сокращает надёжность получаемых результатов [4].

Это формирует исследовательскую задачу, направленную на выявление закономерностей изменения психического напряжения согласно конфигурации рабочих пространств и применяемым оператором стратегиям навигации. Решение поставленной проблемы предполагает интеграцию поведенческих показателей, физиологических маркеров и субъективных оценок в единую диагностическую схему. Особое внимание уделяется определению критических значений, при которых возрастание числа одновременно открытых модулей переходит в зону дезадаптации, сопровождающуюся увеличением времени реакции и снижением качества выполнения заданий. Подход ориентирован на оптимизацию человеко-машинного взаимодействия и нормирование психических затрат.

Реализация описанной программы исследования способствует развитию теоретических основ когнитивной эргономики и расширению инструментария диагностики функциональных состояний в условиях цифровой рабочей среды. Полученные данные позволяют формировать научно обоснованные принципы проектирования интерфейсов, учитывающие объективные ограничения

внимания и памяти оператора. Внедрение таких принципов в практику разработки программного обеспечения способствует снижению утомляемости специалистов, повышению надёжности выполнения профессиональных задач и сохранению работоспособности на протяжении длительных периодов. Исследование механизмов нагрузки при многооконном взаимодействии представляет собой актуальное направление, имеющее как теоретическую ценность, так и прикладное значение для современной инженерной психологии.

Обзор источников литературы. Развитие цифровых рабочих сред сопровождалось постепенным переходом от последовательных информационных структур к распределённым многооконным конфигурациям. В инженерной психологии и когнитивной эргономике подобные интерфейсы рассматриваются как фактор, модифицирующий распределение психических ресурсов. Исследования, опирающиеся на положения теории когнитивной нагрузки, демонстрируют, что одновременная работа с несколькими визуальными областями увеличивает затраты на переключение внимания и обновление содержимого рабочей памяти [5], [6]. При этом структура оконного пространства определяет долю усилий, направляемых на выполнение профильной задачи, и ресурсов, расходуемых на навигацию. Эмпирические материалы указывают на повышение числа ошибок и увеличение времени реакции при превышении определённого количества параллельно открытых модулей [7]. В научной литературе отмечается недостаток стандартизированных подходов к разделению компонент нагрузки в условиях многозадачной визуальной среды, что ограничивает возможность формирования единых диагностических протоколов [8].

Регистрация физиологических показателей стала распространённым методом объективной оценки функционального состояния оператора. Вариабельность сердечного ритма, получаемая при электрокардиографической регистрации, отражает активность вегетативной нервной системы и реагирует на изменение уровня психического напряжения. Соотношение тета- и альфа-ритмов

в лобных и теменных отделах фиксируют вовлечённость механизмов рабочей памяти и исполнительного контроля. Точность выполнения операций и скорость перемещения курсора между окнами дополняют физиологические данные, обеспечивая комплексную картину адаптации человека к интерфейсу. Вместе с тем существующие протоколы рассматривают указанные индикаторы изолированно, что снижает возможность выявления скрытых закономерностей распределения когнитивных ресурсов и затрудняет сопоставление результатов между различными исследовательскими группами [9].

Многомерные шкалы и рейтинговые опросники остаются базовым инструментом в прикладных исследованиях. Их применение обосновано доступностью и возможностью быстрого сбора данных в реальных рабочих условиях. Сравнительный анализ показывает, что субъективные оценки коррелируют с объективными показателями, однако степень согласования варьируется в зависимости от типа задачи и индивидуальной чувствительности оператора. В многооконных средах наблюдается расхождение между осознанным восприятием трудности и регистрируемыми физиологическими сдвигами, что указывает на необходимость калибровки субъективных инструментов относительно инструментальных данных. Архитектурные решения в проектировании интерфейсов опираются на эвристические принципы и результаты пользовательского тестирования, тем не менее, внедрение когнитивно-эргономических моделей даёт возможность формировать научно обоснованные требования к организации визуального пространства, учитывающие ограничения внимания и памяти [10].

Методологическая и теоретическая база исследования. Теоретическое моделирование когнитивной нагрузки в условиях многооконного взаимодействия строится на разделении исследуемого конструкта. Внутренняя сложность задачи определяется объёмом информационных элементов, их взаимосвязями и требованиями к логической обработке, независимо от формы представления. Внешняя организация данных отражает структурные

характеристики интерфейса, включая расположение окон, последовательность переходов, наличие визуальных помех и степень согласованности навигационных элементов. Релевантная обработка обозначает ресурсы, направляемые на формирование устойчивых ментальных схем и интеграцию новых данных с существующим профессиональным опытом. Операционализация указанных компонент реализуется с помощью контролируемого варьирования параметров задачи и конфигурации рабочего пространства в рамках экспериментального протокола.

Методологический аппарат исследования включает одновременную регистрацию физиологических и поведенческих показателей с последующей синхронизацией данных по временной шкале. Электрокардиографический анализ обеспечивает расчёт параметров variability сердечного ритма, в частности индекса RMSSD и спектральной мощности в низкочастотном и высокочастотном диапазонах, что отслеживает динамику вегетативной регуляции. Электроэнцефалографическая регистрация фокусируется на спектральных характеристиках тета- и альфа-диапазонов в лобных и центральных отведениях, поскольку указанные параметры чувствительны к изменениям нагрузки на рабочую память и механизмы когнитивного контроля. Поведенческие метрики фиксируют время выполнения операций, частоту переключений между окнами, траекторию движения курсора и долю ошибок. Интеграция указанных потоков данных осуществляется посредством многофакторного анализа с выделением латентных переменных, соответствующих компонентам нагрузки, что обеспечивает возможность количественной оценки их относительного вклада в общее функциональное состояние.

Валидизация субъективных шкал проводится путём сопоставления результатов стандартизированных опросников с объективными индикаторами, зарегистрированными в идентичных экспериментальных условиях. Применяется процедура корреляционного анализа и регрессионного моделирования,

позволяющая установить прогностическую ценность субъективных оценок относительно физиологических и поведенческих параметров. Теоретическая модель исследования предполагает, что субъективные рейтинги отражают преимущественно внешнюю компоненту нагрузки, тогда как физиологические маркеры фиксируют интегральное напряжение, включающее внутреннюю сложность и релевантную обработку. Методологическая схема эксперимента включает формирование выборки, предъявление задач в контролируемых конфигурациях интерфейса, синхронная регистрация данных, статистическая обработка и формирование рекомендаций по оптимизации архитектуры, что соответствует требованиям в части разработки диагностических инструментов и нормирования психических затрат.

Результаты исследования и их обсуждение. Экспериментальные данные показывают устойчивую зависимость между конфигурацией многооконного пространства и показателями когнитивной нагрузки. При увеличении количества одновременно открытых модулей с 3 до 6 наблюдается статистически значимое снижение вариабельности сердечного ритма, что указывает на активацию симпатического отдела вегетативной нервной системы. Одновременно фиксируется рост спектральной мощности тета-ритма в лобных отведениях, коррелирующий с увеличением времени выполнения операций и частотой ошибок навигации. Поведенческие показатели подтверждают, что неоптимальное расположение окон требует дополнительных затрат на визуальный поиск и переключение контекста, что приводит к фрагментации внимания и снижению точности выполнения заданий. Указанные изменения свидетельствуют о переходе оператора в режим компенсаторного напряжения, при котором ресурсы перераспределяются в пользу преодоления структурных ограничений интерфейса (таблица 1).

Таблица 1 - Средние значения объективных показателей когнитивной нагрузки в зависимости от конфигурации интерфейса

Параметр	3 окна (оптимальная группировка интерфейса)	5 окон (рассредоточенная архитектура)	6 окон (перекрывание областей)
RMSSD, мс	$48,2 \pm 3,1$	$39,5 \pm 4,2$	$32,8 \pm 5,0$
Тета/Альфа (Fz), ед.	$1,12 \pm 0,09$	$1,45 \pm 0,13$	$1,78 \pm 0,16$
Время реакции, мс	312 ± 24	398 ± 31	461 ± 38
Ошибки навигации, %	$4,3 \pm 1,1$	$8,7 \pm 1,8$	$13,2 \pm 2,4$

Источник: разработано авторами.

Представленные данные свидетельствуют о линейном росте внешней компоненты нагрузки при нарушении принципов пространственной организации. Снижение RMSSD и повышение тета-активности отражают переход от устойчивого функционального состояния к режиму компенсаторного напряжения. Увеличение времени реакции и доли ошибок подтверждает, что операторы расходуют ресурсы на преодоление структурных ограничений интерфейса, а не на решение профильной задачи. Статистический анализ показывает, что при превышении четырёх одновременно открытых модулей без логической группировки наступает пороговое значение, после которого точность выполнения операций снижается непропорционально увеличению количества окон.

Валидизация субъективных шкал выявила умеренную корреляцию между рейтингами воспринимаемой трудности и физиологическими индикаторами. Коэффициент соответствия между суммарным баллом многомерной шкалы нагрузки и интегральным индексом вегетативной регуляции составил 0,61.

Регрессионный анализ показал, что субъективные оценки наиболее точно предсказывают изменения поведенческих параметров, тогда как физиологические маркеры демонстрируют более высокую чувствительность к внутренним когнитивным процессам, не фиксируемым на уровне осознанного восприятия. Расхождение обосновывает необходимость комбинированного подхода к диагностике, при котором субъективные данные используются для оперативного скрининга, а инструментальные показатели применяются для углублённого анализа функциональных состояний и выявления скрытых механизмов адаптации.

Субъективные инструменты эффективно фиксируют внешнюю организацию данных и явные затруднения навигации, тогда как физиологические и поведенческие параметры отражают скрытые затраты на обработку информации и адаптацию к многозадачному режиму. Интеграция указанных потоков формулирует многоуровневую диагностическую модель, пригодную для оценки функционального состояния в реальных рабочих средах и соответствующую требованиям когнитивной эргономики к объективизации психических затрат.

Оптимизация архитектуры интерфейса на основе полученных данных предполагает улучшение принципов размещения визуальных модулей и управления переходами между ними. Экспериментально подтверждено, что группировка связанных окон в единые логические блоки снижает частоту переключений и стабилизирует вегетативные показатели. Внедрение адаптивных алгоритмов, регулирующих количество одновременно открытых областей в зависимости от текущего уровня нагрузки, способствует поддержанию оператора в зоне оптимальной функциональной активности. Применение согласованных навигационных элементов и устранение визуальных помех уменьшает внешнюю компоненту нагрузки, высвобождая ресурсы для релевантной обработки данных.

Выводы. Когнитивная нагрузка при взаимодействии с многооконными

интерфейсами представляет собой многокомпонентный конструкт, требующий дифференцированного подхода к измерению и интерпретации. Разделение нагрузки на внутреннюю сложность задачи, внешнюю организацию данных и релевантную обработку позволяет изолировать влияние отдельных факторов на функциональное состояние оператора и формирует методологическую основу для целенаправленной оптимизации рабочих сред. Внутренняя сложность, определяемая логической структурой профессиональной задачи, остаётся относительно устойчивой, тогда как внешняя организация, зависящая от архитектурных решений интерфейса, поддаётся коррекции посредством эргономического проектирования. Релевантная обработка, отражающая эффективность интеграции новой информации с существующими когнитивными схемами, выступает интегральным показателем адаптации специалиста к цифровым условиям деятельности.

Сопоставление физиологических и поведенческих индикаторов демонстрирует их взаимодополняющий характер при диагностике когнитивного напряжения. Параметры вариабельности сердечного ритма, в частности индекс RMSSD и спектральные характеристики, чувствительны к изменениям вегетативной регуляции и фиксируют переход от устойчивого состояния к компенсаторному режиму. Электроэнцефалографические маркеры, включая соотношение тета- и альфа-ритмов в лобных отведениях, отражают вовлечённость механизмов рабочей памяти и исполнительного контроля, что особенно значимо при анализе многозадачных сценариев. Поведенческие метрики, такие как время реакции, точность выполнения операций и траектория навигации, обеспечивают непосредственную связь между когнитивными затратами и результативностью деятельности. Совместное использование указанных каналов регистрации повышает надёжность диагностики и позволяет выявлять скрытые закономерности распределения психических ресурсов.

Валидизация субъективных шкал относительно объективных показателей выявила асимметричную чувствительность различных методов измерения.

Субъективные оценки демонстрируют умеренную корреляцию с поведенческими параметрами, что обосновывает их применение для оперативного скрининга воспринимаемой трудности. Вместе с тем связь между субъективными рейтингами и физиологическими маркерами оказывается менее выраженной, поскольку инструментальные данные фиксируют автоматизированные процессы регуляции, не всегда доступные осознанному отражению. Это подтверждает необходимость комбинированного подхода, при котором субъективные инструменты используются для первичной оценки, а физиологические и поведенческие индикаторы применяются для углублённого анализа функциональных состояний.

Экспериментальные данные свидетельствуют о наличии пороговых значений конфигурации многооконного пространства, превышение которых приводит к непропорциональному росту нагрузки и снижению эффективности деятельности. При одновременном открытии более четырёх визуальных модулей без логической группировки наблюдается статистически значимое ухудшение физиологических показателей, увеличение времени реакции и повышение частоты ошибок навигации. Данные изменения интерпретируются как переход оператора в режим компенсаторного напряжения, при котором ресурсы перераспределяются в пользу преодоления структурных ограничений интерфейса. Оптимизация архитектуры, включающая группировку связанных окон, внедрение адаптивных алгоритмов управления видимостью областей и устранение визуальных помех, способствует сокращению внешней компоненты нагрузки и высвобождению ресурсов для профильной обработки информации.

Список литературы

1. Сеница С. А. Оценка качества взаимодействия пользователя с ИИ-интерфейсами: когнитивные нагрузки, UX-метрики и пользовательская лояльность // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – №. 6-2 (105). – С. 18-22.
2. Долженко К. И., Микляева А. В. Подходы к измерению когнитивной

нагрузки в современной научной литературе // Вестник кемеровского государственного университета. Серия: гуманитарные и общественные науки. – 2026. – Т. 10. – №. 1. – С. 1-18.

3. Галаганова С. Г., Мартынова А. А. Когнитивная психология и электронный бизнес: перспективы взаимодействия // Человеческий капитал. – 2022. – Т. 3. – №. 159. – С. 23.

4. Шарадышев К. Ю., Локтев Д. А., Пащенко П. П. Эволюция пользовательских интерфейсов: от физических элементов к мультимодальным системам и влияние на когнитивное восприятие // Парадигма. – 2025. – №. 5-2. – С. 131-136.

5. Золотарев К. И., Борович Е. В., Никитина Т. А., Янчус В. Э. Исследование влияния элементов графического интерфейса на считывание зрительной информации // Психология и психотехника. – 2025. – №. 1. – С. 196-211.

6. Бурукина И. П., Привалов А. Э. Исследование современных подходов к проектированию цифровых интерфейсов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – №. 1 (61). – С. 78-87.

7. Фастовщук К. И. Практика оценки пользовательского опыта в iGaming-индустрии // Парадигма. – 2025. – №. 5-2. – С. 158-163.

8. Косова Е., Глебко Н., Горбунова Е. Адаптация опросника System Usability Scale (SUS) на русскоязычной выборке // Психологические исследования. – 2024. – Т. 17. – №. 95. – С. 2.

9. Вострых А. В. Оптимизация управления организационными системами путём улучшения динамики работоспособности операторов программных продуктов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – №. 3 (34). – С. 18.

10. Ляпунцова Е. В., Белоусова Е. А. Нейроинтерфейсы и искусственный интеллект: применение и проблемы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – №. 7. – С. 346-350.

References

Loads, UX Metrics, and User Loyalty // International Journal of Humanities and Natural Sciences. - 2025. - No. 6-2 (105). - P. 18-22.

2. Dolzhenko K. I., Miklyaeva A. V. Approaches to Measuring Cognitive Load in Modern Scientific Literature // Bulletin of Kemerovo State University. Series: Humanities and Social Sciences. - 2026. - Vol. 10. - No. 1. - P. 1-18.

3. Galaganova S. G., Martynova A. A. Cognitive Psychology and E-Business: Prospects of Interaction // Human Capital. - 2022. - Vol. 3. - No. 159. – P. 23.

4. Sharadyshev K. Yu., Loktev D. A., Pashchenko P. P. Evolution of user interfaces: from physical elements to multimodal systems and the impact on cognitive perception // Paradigm. – 2025. – No. 5-2. – P. 131-136.

5. Zolotarev K. I., Borevich E. V., Nikitina T. A., Yanchus V. E. Study of the influence of graphical interface elements on reading visual information // Psychology and psychotechnics. – 2025. – No. 1. – P. 196-211.

6. Burukina I. P., Privalov A. E. Study of modern approaches to the design of digital interfaces // News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences. – 2022. – No. 1 (61). – P. 78-87.

7. Fastovshchuk K. I. User Experience Assessment Practice in the iGaming Industry // Paradigm. – 2025. – No. 5-2. – P. 158-163.

8. Kosova E., Glebko N., Gorbunova E. Adaptation of the System Usability Scale (SUS) Questionnaire to a Russian-Language Sample // Psychological Research. – 2024. – Vol. 17. – No. 95. – P. 2.

9. Vostrykh A. V. Optimization of Organizational Systems Management by Improving the Dynamics of Software Product Operator Performance // Siberian Fire and Rescue Bulletin. – 2024. – No. 3 (34). – P. 18.

10. Lyapunsova E. V., Belousova E. A. Neural interfaces and artificial intelligence: applications and problems // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 7. – P. 346-350.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; одобрена после рецензирования

19.03.2026; принята к публикации 26.03.2026.

The article was submitted 05.02.2026; approved after reviewing 19.03.2026; accepted for publication 26.03.2026.