

Научная статья

УДК 159.9 :004.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С УЧЁТОМ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРЦЕПТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Ульянина Ольга Александровна, доктор психологических наук, доцент,
член-корреспондент РАО, руководитель Федерального координационного
центра по обеспечению развития психолого-педагогической помощи в
системе образования Российской Федерации, Московский
государственный психолого-педагогический университет, Россия,
Москва, olga.ulianina@yandex.ru**

Аннотация. Современная производственная среда характеризуется устойчивым несоответствием между типовыми параметрами человеко-машинных интерфейсов, ориентированными на усреднённые показатели молодой аудитории, и реальными перцептивно-моторными возможностями специалистов старших возрастных групп. Профессиональная надёжность во многом зависит от согласованной работы механизмов зрительного восприятия, обработки информации и моторных реакций, что позволяет сохранять точность и скорость действий при длительном мониторинге технических систем. Это обуславливает необходимость разработки эргономического решения, учитывающего возрастные психофизиологические закономерности, адаптивные алгоритмы отображения данных и способы снижения когнитивной нагрузки. В работе представлена проектная модель, предусматривающая разные уровни настройки параметров интерфейса и их калибровку с учётом индивидуальных перцептивных профилей операторов. Экспериментальная проверка подтвердила достоверное повышение точности опознания сигналов, сокращение времени реакции на периферические стимулы и снижение субъективной утомляемости в группе специалистов, осуществлявших взаимодействие с адаптированными прототипами дисплеев. Разработанные критерии доступности и нормативные рекомендации дают возможность индивидуализировать конфигурацию рабочих

мест и повысить объективность оценки соответствия оборудования возрастным характеристикам персонала. Научная новизна заключается в теоретико-методическом обосновании количественной связи между показателями возрастного снижения сенсомоторных функций и проектными характеристиками человеко-машинных интерфейсов, предназначенных для промышленного применения.

Ключевые слова: когнитивная эргономика; инженерная психология; возрастная динамика перцептивных процессов; человеко-машинные интерфейсы; сенсомоторные ограничения; эргономические стандарты; профессиональная работоспособность.

Original article

DESIGNING HUMAN-MACHINE INTERFACES TAKING INTO ACCOUNT AGE-RELATED CHANGES IN PERCEPTUAL PROCESSES

Ulyanina Olga Aleksandrovna, Doctor of Psychological Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Head of the Federal Coordination Center for the Development of Psychological and Pedagogical Assistance in the Education System of the Russian Federation, Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia, olga.ulianina@yandex.ru

Annotation. The modern production environment is characterized by a persistent discrepancy between the typical parameters of human-machine interfaces, oriented toward the average performance of a young audience, and the actual perceptual-motor capabilities of older professionals. Professional reliability largely depends on the coordinated functioning of visual perception, information processing, and motor response mechanisms, which enables the maintenance of accuracy and speed of actions during long-term monitoring of technical systems. This necessitates the development of an ergonomic solution that takes into account age-related psychophysiological patterns, adaptive data display algorithms, and methods for

reducing cognitive load. This paper presents a design model that provides for different levels of interface parameter customization and their calibration based on the individual perceptual profiles of operators. Experimental testing confirmed a significant increase in signal recognition accuracy, a reduction in reaction time to peripheral stimuli, and a reduction in subjective fatigue in a group of professionals interacting with adapted display prototypes. The developed accessibility criteria and regulatory recommendations enable individualized workstation configurations and improve the objectivity of assessing equipment compliance with the age characteristics of personnel. The scientific novelty lies in the theoretical and methodological substantiation of the quantitative relationship between indicators of age-related decline in sensorimotor functions and the design characteristics of human-machine interfaces intended for industrial use.

Keywords: cognitive ergonomics; engineering psychology; age dynamics of perceptual processes; human-machine interfaces; sensorimotor limitations; ergonomic standards; professional performance.

Введение. Современное производственное и информационное пространство характеризуется цифровизацией рабочих сред и необходимостью адаптации технических систем к индивидуальным когнитивным и физиологическим характеристикам операторов [1]. В условиях демографических трансформаций и постепенного увеличения доли специалистов старших возрастных групп в промышленных, транспортных и сервисных отраслях возникает объективная потребность в разработке интерфейсов, согласованных с закономерностями возрастного развития перцептивных функций. Проблема приобретает крайне высокую значимость в контексте обеспечения продолжительной работоспособности персонала, минимизации вероятности ошибочных действий и поддержания заданного уровня безопасности при эксплуатации автоматизированных комплексов. Использование психологических знаний при создании человеко-машинных систем уменьшает

несоответствие между способом представления информации и естественными особенностями восприятия [2].

Возрастно-инклюзивное проектирование человеко-машинных интерфейсов требует разграничения двух уровней анализа. Первый связан с общими возрастными различиями сенсорных, перцептивных и моторных функций. Второй образуют индивидуальные функциональные возможности конкретного специалиста. Эти уровни связаны, но не взаимозаменяемы: одинаковый календарный возраст не предполагает одинаковой контрастной чувствительности, скорости зрительного поиска, технического опыта или точности моторной реакции.

Поэтому возраст целесообразно использовать как групповой ориентир при оценке возможных требований к интерфейсу, тогда как непосредственным основанием для его настройки должны служить функциональные показатели пользователя. Современный систематический обзор исследований с применением трекинга также показывает выраженную неоднородность поведения старших пользователей и подчёркивает необходимость учитывать не отдельный возрастной признак, а совокупность параметров взаимодействия с интерфейсом [11].

Для промышленного рабочего места подобная постановка особенно значима. Опытный специалист старшей возрастной группы может обладать более эффективными профессиональными схемами распознавания ситуации, одновременно испытывая большие затруднения при низком контрасте или быстром обновлении дисплея. Следовательно, задача эргономического проектирования состоит в снижении тех интерфейсных требований, которые не являются необходимыми для выполнения профессиональной задачи.

Возрастно-инклюзивный интерфейс в этом смысле должен обеспечивать функциональную эквивалентность условий работы: различия в сенсорно-моторных возможностях не должны искусственно превращаться в различия профессиональной результативности там, где это может быть предотвращено

проектными средствами. Современные обзоры связывают повышение доступности именно с сочетанием увеличенной читаемости, понятной навигации, достаточных размеров интерактивных элементов и возможности персональной настройки [12].

Существующие отраслевые рекомендации и нормативные документы по проектированию пользовательских интерфейсов ориентированы на усреднённые показатели молодой взрослой аудитории, что приводит к систематическому игнорированию специфических потребностей стареющих специалистов. Эмпирические исследования в области возрастной инженерной психологии обозначают разрозненность методологических подходов и недостаточную валидацию предлагаемых решений в условиях реальной производственной эксплуатации. Отсутствие единой концептуальной модели, связывающей параметры перцептивного старения с архитектурными характеристиками человеко-машинных систем, ограничивает возможность прогнозирования эффективности взаимодействия на ранних стадиях разработки [4].

Цель настоящего исследования состоит в выявлении возрастных различий перцептивно-моторных показателей специалистов и определении того, какие параметры интерфейса могут уменьшать связанные с ними затруднения при выполнении производственных задач. Особое внимание уделяется поиску диапазона настроек, позволяющего сохранять требуемую точность и оперативность у пользователей с различными функциональными характеристиками.

Научная задача включает три последовательных этапа: сопоставление показателей представителей разных возрастных когорт; проверку нескольких вариантов отображения информации; перевод выявленных различий в проектные ориентиры. При таком подходе возрастная группа используется для анализа, а итоговой единицей проектирования становится профиль функциональных возможностей оператора.

Обзор литературы. Современные исследования интерфейсов для старших

пользователей показывают, что возрастные различия проявляются не в едином универсальном снижении эффективности, а в неодинаковой чувствительности отдельных компонентов взаимодействия. На результат могут влиять читаемость текста, визуальная сложность, структура иерархии, знакомство пользователя со способом представления информации, моторные требования и предшествующий цифровой опыт. Систематический обзор исследований с регистрацией движений глаз подтверждает неоднородность результатов и необходимость контекстно-зависимых проектных рекомендаций [11].

Особое значение имеют визуальные параметры представления. Исследования цветового дизайна демонстрируют, что характеристики яркости, насыщенности и цветовых сочетаний способны существенно влиять на восприятие интерфейса старшими пользователями [15]. В то же время результаты нельзя непосредственно переводить в один универсальный набор цветов для любой производственной системы: требования диспетчерского экрана, мобильного приложения и бытового киоска различаются по условиям освещения, расстоянию наблюдения и значению кодируемой информации.

Возрастно-инклюзивное проектирование касается не только сенсорной доступности. Эксперимент с пользователями старше 65 лет показал, что линейная и знакомая структура взаимодействия может сокращать время выполнения задачи и уменьшать потребность в помощи по сравнению с более сложной иерархической организацией [14]. Поэтому при проектировании рабочего места необходимо учитывать не только размеры и контраст элементов, но и предсказуемость структуры действий.

Соматосенсорные и моторные компоненты также подвержены возрастной инволюции. Снижение тактильной чувствительности, уменьшение проприоцептивной точности и ослабление мышечного контроля влияют на выполнение манипулятивных действий с элементами управления. Кинематические исследования фиксируют увеличение вариабельности траекторий движений, снижение плавности моторных актов и возрастание

энергозатрат при выполнении повторяющихся операций. Эти изменения приобретают особую значимость в условиях высокоточного позиционирования или быстрого переключения между различными органами управления, что характерно для современных автоматизированных рабочих мест [10].

Существующие подходы к проектированию интерфейсов для пользователей старших возрастных групп часто ограничиваются упрощением визуального представления или увеличением размеров элементов управления, что не учитывает комплексный характер сенсомоторных ограничений. Анализ нормативной документации в области эргономики выявляет недостаточную дифференциацию рекомендаций по возрастным группам и слабую интеграцию данных когнитивной геронтологии в инженерную практику. Отсутствуют систематизированные критерии, позволяющие количественно оценивать соответствие параметров оборудования перцептивно-моторным возможностям стареющих специалистов, что снижает эффективность их профессиональной деятельности и повышает риск возникновения ошибок.

Методы исследования. Эмпирическая часть работы базировалась на комплексном подходе, сочетающем психофизиологическую диагностику, экспериментальное моделирование рабочих ситуаций и экспертную оценку проектных решений. В исследовании приняли участие 120 специалистов производственных предприятий в возрасте от 25 до 65 лет, разделённых на четыре возрастные когорты с интервалом 10 лет, соответственно, 32 специалиста, 28 специалистов, 24 специалиста и 36 специалистов. Все участники имели стаж работы с автоматизированными системами управления не менее 3 лет и не предъявляли жалоб на нарушения зрения или моторики; отсутствие таких нарушений подтверждалось медицинским осмотром.

Субъективное функциональное состояние оценивали с помощью модифицированного опросника, разработанного с учётом отдельных принципов шкалы Спилбергера-Ханина и дополненного вопросами о самочувствии при работе с техническим интерфейсом. Поскольку исходная методика Спилбергера-

Ханина предназначена прежде всего для оценки тревожности, полученный показатель в настоящем исследовании рассматривался как исследовательский индекс субъективной утомляемости, а не как самостоятельная стандартизированная шкала утомления.

Тестирование прототипов проводилось в контролируемых лабораторных условиях с последующей проверкой результатов на производственных площадках.

Возрастные группы сравнивались как независимые когорты. В связи с этим обнаруженные различия интерпретировались как межгрупповые возрастные различия, а не как непосредственно зарегистрированные индивидуальные изменения в процессе старения. Для установления собственно возрастной динамики потребовалось бы повторное обследование одних и тех же специалистов на протяжении длительного периода.

Экспериментальное тестирование прототипов дисплеев осуществлялось в контролируемых лабораторных условиях с последующей верификацией результатов на производственных площадках. Были разработаны 4 варианта интерфейса, различающихся по параметрам контрастности, размера шрифта, цветовой кодировки и временных характеристик обновления информации. Каждый участник выполнял серию стандартизированных задач, имитирующих типовые операции мониторинга и управления, при этом регистрировались объективные показатели эффективности (время выполнения, количество ошибок) и субъективные оценки удобства использования.

Статистическая обработка данных включала дисперсионный анализ с повторными измерениями для выявления возрастных различий, корреляционный анализ в целях установления связей между физиологическими показателями и эффективностью деятельности, а также регрессионное моделирование, чтобы определить совокупность предикторов успешного взаимодействия с интерфейсами различных типов. Достоверность различий оценивалась при уровне значимости 0,05, все расчёты выполнялись с

применением специализированного программного обеспечения для статистического анализа.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ сенсомоторных показателей выявил устойчивую тенденцию к снижению эффективности перцептивно-моторного взаимодействия с возрастом, однако характер этих изменений оказался неоднородным для различных модальностей и уровней сложности задач. Наиболее выраженные возрастные различия зафиксированы в показателях контрастной чувствительности и времени реакции на периферические стимулы, тогда как точность выполнения простых моторных актов сохранялась на сопоставимом уровне до возраста 60 лет. Эти результаты позволяют разграничить критические и компенсируемые возрастные изменения при проектировании рабочих сред (таблица 1).

Таблица 1 - Сенсорно-моторные показатели в разных возрастных группах

Показатель	25-34 года	35-44 года	45-54 года	55-65 лет	Уровень значимости различий
Порог контрастной чувствительности (ед.)	$0,8 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,4$	$2,3 \pm 0,6$	$p < 0,001$
Время опознания символа (мс)	245 ± 31	268 ± 35	312 ± 42	389 ± 58	$p < 0,001$
Точность позиционирования курсора (мм)	$1,2 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,5$	$1,9 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,9$	$p < 0,01$
Время реакции на периферический стимул (мс)	312 ± 45	341 ± 52	398 ± 67	487 ± 89	$p < 0,001$
Субъективная оценка утомляемости (баллы)	$3,2 \pm 1,1$	$4,1 \pm 1,3$	$5,4 \pm 1,6$	$6,8 \pm 1,9$	$p < 0,001$

Источник: разработано автором.

Средние значения последовательно различаются между возрастными группами по всем пяти показателям. Наиболее выраженный численный разрыв между крайними когортами наблюдается во времени реакции на периферический стимул: 312 ± 45 мс в группе 25-34 лет и 487 ± 89 мс в группе 55-65 лет. Время опознания символа соответственно составляет 245 ± 31 и 389 ± 58 мс. Одновременно возрастает величина порога контрастного различения и

ошибка позиционирования курсора.

Полученные данные показывают возрастную дифференциацию исследуемых функций, но не позволяют устанавливать конкретный индивидуальный «момент ухудшения после 55 лет». Для такого вывода потребовались бы продольные данные или статистически подтверждённая точка изменения зависимости. В настоящей выборке корректнее говорить о том, что наибольшие средние значения затруднений зарегистрированы в группе 55-65 лет.

Также заметно увеличение стандартных отклонений в старших возрастных группах. Оно указывает на большую неоднородность показателей внутри обследованных когорт, но не является самостоятельным доказательством расхождения индивидуальных «траекторий старения». С практической точки зрения эта неоднородность подтверждает необходимость персональной настройки интерфейса.

Сравнение разработанных прототипов показало, что изменение параметров отображения способно уменьшать часть межгрупповых различий. У специалистов старших когорт более контрастное представление и увеличение критически значимых элементов сопровождалось улучшением точности и скорости выполнения заданий. При этом в исходном анализе не выявлено снижения результативности молодых операторов при использовании адаптированных вариантов.

Этот результат подтверждает целесообразность инклюзивного подхода: изменения интерфейса, облегчающие распознавание информации пользователями со сниженными сенсорными возможностями, могут быть полезны и другим сотрудникам, если они не увеличивают визуальную сложность и не нарушают привычную структуру управления. Современный систематический обзор 132 исследований интерфейсов также выделяет увеличенный текст, доступные размеры интерактивных элементов, упрощение навигации и персонализацию как повторяющиеся направления повышения

доступности [12].

Однако универсальный интерфейс и индивидуально регулируемый интерфейс не являются взаимоисключающими подходами. Разумной является двухуровневая организация: базовая конфигурация обеспечивает достаточную доступность широкому диапазону пользователей, а дополнительные параметры позволяют учитывать индивидуальные различия. Современные адаптивные системы для старших пользователей учитывают контекст использования и индивидуальные потребности при выборе правил изменения интерфейса [13].

Критерии доступности интерфейса и снижения утомляемости определялись на основе совокупной оценки объективных показателей деятельности и субъективных оценок комфорта. Установлено, что ключевыми параметрами доступности интерфейса для специалистов старших возрастных групп являются контрастность текстовой информации не менее 7:1, размер шрифта основных элементов управления не менее 14 пунктов и временной интервал между сменой критически важных сигналов не менее 800 мс.

Результаты показали, что интерфейсы, не учитывающие возрастные особенности, провоцируют более раннее наступление усталости и более выраженное снижение эффективности во второй половине рабочего дня у специалистов старше 45 лет. Внедрение адаптированных параметров отображения способствовало сглаживанию данной динамики, что подтверждается как объективными показателями выполнения задач, так и данными самоотчётов участников.

Формулировка эргономических стандартов для производственного оборудования базировалась на систематизации полученных эмпирических данных и их соотнесении с существующими нормативными требованиями. Разработанные рекомендации дифференцированы по трём уровням: базовые параметры, обязательные для всех рабочих мест; адаптируемые характеристики, настраиваемые под индивидуальные особенности оператора; и дополнительные опции, повышающие комфорт при длительной эксплуатации (таблица 2).

Таблица 2 - Уровни проектных требований к возрастнo-инклюзивному интерфейсу

Категория	Базовый уровень	Адаптируемый уровень	Дополнительные опции
Визуальное отображение	Контрастность $\geq 7:1$	Регулировка яркости и цветовой температуры	Персональные профили отображения
	Шрифт ≥ 14 пт		
Временные характеристики	Минимальная длительность сигнала 800 мс	Адаптивная скорость обновления интерфейса	Возможность ручной задержки критических уведомлений
Моторные элементы управления	Размер кнопок $\geq 12 \times 12$ мм	Регулировка чувствительности элементов	Тактильная обратная связь с настраиваемой интенсивностью
	Ход $\geq 1,5$ мм		
Информационная структура	Иерархия не более трёх уровней	Возможность изменения плотности информации	Контекстная подсказка с регулировкой детализации
	Единообразие кодировки		

Источник: разработано автором.

Приведённые значения следует рассматривать как проектные ориентиры для исследованного класса задач. В частности, отношение контраста 7:1 соответствует усиленному уровню контрастности WCAG 2.2 (AAA), тогда как минимальный уровень AA для обычного текста составляет 4,5:1 [16]. Это означает, что значение 7:1 допустимо как консервативный ориентир высокой читаемости, но не должно представляться как единственный обязательный стандарт.

Учёт возрастных изменений сенсомоторных функций при проектировании человеко-машинных интерфейсов представляет собой необходимое условие обеспечения безопасности и эффективности производственных процессов. Разработанные критерии и стандарты могут быть интегрированы в отраслевые нормативные документы, а также использованы при разработке методов оценки пригодности рабочих мест для специалистов различных возрастных категорий. Дальнейшие исследования целесообразно направить на верификацию предложенных параметров в условиях реального производственного цикла и разработку автоматизированных инструментов адаптации интерфейсов на основе биометрической обратной связи.

Выводы. Полученные результаты показывают значимые различия сенсорно-моторных характеристик между четырьмя обследованными возрастными группами специалистов. Наиболее выраженные межгрупповые различия обнаружены в пороге контрастного различения, времени опознания визуального символа и реакции на периферический стимул. При этом исследование имеет поперечный дизайн, поэтому полученные показатели характеризуют различия возрастных когорт.

В группе 55-65 лет время опознания символа составило 389 ± 58 мс против 245 ± 31 мс у участников 25–34 лет, а время реакции на периферический стимул - соответственно 487 ± 89 и 312 ± 45 мс. Одновременно увеличивалась ошибка позиционирования курсора. Данные результаты показывают необходимость учитывать сенсорную и моторную доступность интерфейса при работе разновозрастного персонала.

Одновременно увеличение внутригруппового разброса показателей свидетельствует о том, что хронологический возраст недостаточен для выбора индивидуальной конфигурации. Два специалиста одной возрастной категории могут различаться по контрастной чувствительности, моторной точности, опыту и способам работы с цифровой системой. Поэтому возраст целесообразно использовать для определения потенциально уязвимых проектных параметров, а настройку интерфейса - осуществлять по фактическому функциональному профилю.

Апробация вариантов отображения показывает возможность частичной компенсации обнаруженных различий средствами интерфейса. Более высокая читаемость критически значимой информации, увеличение визуально важных элементов и возможность настройки способствуют более благоприятным показателям взаимодействия у старших групп без обнаруженного ухудшения результатов молодых пользователей. Современные исследования взаимодействия человека и компьютера подтверждают эффективность инклюзивного и персонализируемого подхода [11-14].

Предлагаемые значения контрастности 7:1, размера текста 14 пт и интервала представления значимого сигнала 800 мс следует использовать как проектные ориентиры, полученные для исследованных условий. Они не являются универсальными нормативами для любого оборудования. Особенно это касается контраста: WCAG 2.2 различает минимальный уровень 4,5:1 для обычного текста и усиленный уровень 7:1 [16].

Наиболее перспективной является двухуровневая архитектура рабочего места. Базовый уровень должен быть доступен широкому диапазону сенсорно-моторных возможностей, а индивидуальная настройка - изменять яркость, масштаб, темп представления и иные параметры при необходимости. Исследования 2025 г. в области адаптивных интерфейсов для старших пользователей также показывают, что изменение интерфейса может задаваться с учётом контекста использования и индивидуальных потребностей пользователя [13].

Ограничением исследования является включение специалистов без заявленных нарушений зрения и моторики. Поэтому полученные диапазоны не следует автоматически распространять на работников с выраженными сенсорными ограничениями. В дальнейших исследованиях следует разграничить влияние возраста, профессионального опыта, цифровой подготовленности, коррекции зрения и других индивидуальных характеристик.

Таким образом, центральным проектным принципом является обеспечение таких параметров интерфейса, при которых специалист способен выполнять профессиональную задачу без избыточных требований к зрительному различению, скорости реакции или моторной точности. Подобная постановка уменьшает риск возрастной категоризации пользователей и одновременно делает эргономические рекомендации непосредственно связанными с измеряемыми характеристиками деятельности.

Список литературы

1. Глухова Э. Д., Анохин А. Н., Зеркаленков Д. А. Методика системного проектирования человеко-машинного интерфейса авиационного многофункционального пульта управления // Моделирование и анализ данных. – 2025. – Т. 15. – №. 3. – С. 7-26.
2. Зыбин Е. Ю., Косьянчук В. В., Земкин В. А. Авиационные человеко-машинные интерфейсы: состояние и перспективы развития // Ресурсы конкурентоспособности спортсменов: теория и практика реализации. – 2022. – №. 10. – С. 211.
3. Спасенников В. В., Сударик А. Н., Федотов С. Н. Анализ эрготехнических результатов изобретательских решений в сфере тренажеростроения систем человек–техника // Психология и педагогика служебной деятельности. – 2024. – №. 2. – С. 67-75.
4. Алехина И. Г., Душин А. В., Жедяевский Д. Н., Калашников П. К., Мартынов В. Г., Подуфалов Н. Д., Савенков А. О разработке дидактических систем в условиях цифровой трансформации профессионального образования (часть 1) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2025. – Т. 22. – №. 1. – С. 7-36.
5. Макаренко С. И. Техническая интероперабельность и эргономика человеко-машинных интерфейсов сетецентрических систем // Журнал радиоэлектроники. – 2022. – Т. 3. – С. 1684-1719.
6. Уали А. Б., Наукенова А. С., Корсун О. Н., Тулекбаева А. К., Глухова Э. Д., Глухов М. А. Методика разработки человеко-машинного интерфейса в системе поддержки оператора производственных установок при действиях в аварийных ситуациях // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2023. – №. 1 (142). – С. 98-116.
7. Смирнов А. В., Левашова Т. В. Онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений // Онтология проектирования. – 2024. – Т. 14. – №. 3. – С. 421-439.

8. Насибов Д. Р., Абдуллаева П. Н. Создание пользовательского интерфейса // *Endless light in science*. – 2024. – Т. 7. – №. март 2. – С. 24-29.
9. Тагирова Л. Ф., Субботин А. В., Зубкова Т. М. Программная инструментальная система создания адаптивных пользовательских интерфейсов // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2022. – Т. 22. – №. 4. – С. 751-759.
10. Тельный А. В., Монахов М. Ю., Николаев А. В., Матвеева Е. А. Методика оценки защищенности человеко-машинного интерфейса для автоматизированного рабочего места интегрированной системы безопасности // *Журнал Современные наукоемкие технологии*. – 2025. – №. 1. – С. 67-77.
11. Li G., Tang T. Online performance and interface design implications among older adults: A systematic review of eye tracking studies // *Applied Ergonomics*. – 2025. – Vol. 128. – Article 104538. – DOI: 10.1016/j.apergo.2025.104538.
12. Amouzadeh E., Dianat I., Faradmali J., Babamiri M. Optimizing mobile app design for older adults: systematic review of age-friendly design // *Aging Clinical and Experimental Research*. – 2025. – Vol. 37. – Article 248. – DOI: 10.1007/s40520-025-03157-7.
13. Wickramathilaka S., Grundy J., Madampe K., Haggag O. Adaptive and accessible user interfaces for seniors through model-driven engineering // *Automated Software Engineering*. – 2025. – Vol. 32. – Article 74. – DOI: 10.1007/s10515-025-00547-z.
14. Lee C. H., Lee J., Kim D., Kim I., Song H. Designing self-ordering kiosk for older adults: Familiarity design focusing on representation, manipulation, and organization // *Computers in Human Behavior*. – 2024. – Vol. 156. – Article 108236. – DOI: 10.1016/j.chb.2024.108236.
15. Liu B., Wang C. Elderly-Centric Chromatics: Unraveling the Color Preferences and Visual Needs of the Elderly in Smart APP Interfaces // *International Journal of Human-Computer Interaction*. – 2025. – Vol. 41. – No. 5. – P. 3527–3536. – DOI: 10.1080/10447318.2024.2338659.
16. World Wide Web Consortium. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG)

2.2. W3C Recommendation. – 2023.

References

1. Glukhova E. D., Anokhin A. N., Zerkalnikov D. A. Metodika sistemnogo proektirovaniya cheloveko-mashinnogo interfeisa aviatsionnogo mnogofunktsional'nogo pul'ta upravleniya // Modelirovanie i analiz dannykh. – 2025. – T. 15. – №. 3. – S. 7-26.
2. Zybin E. Yu., Kos'yanchuk V. V., Zemkin V. A. Aviatsionnye cheloveko-mashinnye interfeisy: sostoyanie i perspektivy razvitiya // Resursy konkurentosposobnosti sportsmenov: teoriya i praktika realizatsii. – 2022. – №. 10. – S. 211.
3. Spasennikov V. V., Sudarik A. N., Fedotov S. N. Analiz ergotekhnicheskikh rezul'tatov izobretatel'skikh reshenii v sfere trenazherostroeniya sistem chelovek–tehnika // Psikhologiya i pedagogika sluzhebnoi deyatel'nosti. – 2024. – №. 2. – S. 67-75.
4. Alekhina I. G., Dushin A. V., Zhedyaevskii D. N., Kalashnikov P. K., Martynov V. G., Podufalov N. D., Savenkov A. O razrabotke didakticheskikh sistem v usloviyakh tsifrovoi transformatsii professional'nogo obrazovaniya (chast' 1) // Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Informatizatsiya obrazovaniya. – 2025. – T. 22. – №. 1. – S. 7-36.
5. Makarenko S. I. Tekhnicheskaya interoperabel'nost' i ergonomika cheloveko-mashinnykh interfeisov setetsentricheskikh sistem // Zhurnal radioelektroniki. – 2022. – T. 3. – S. 1684-1719.
6. Uali A. B., Naukenova A. S., Korsun O. N., Tulekbaeva A. K., Glukhova E. D., Glukhov M. A. Metodika razrabotki cheloveko-mashinnogo interfeisa v sisteme podderzhki operatora proizvodstvennykh ustanovok pri deistviyakh v avariinykh situatsiyakh // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya «Priborostroenie». – 2023. – №. 1 (142). – S. 98-116.
7. Smirnov A. V., Levashova T. V. Ontologiya patternov cheloveko-mashinnogo sotrudnichestva dlya podderzhki prinyatiya reshenii // Ontologiya proektirovaniya. –

2024. – Т. 14. – №. 3. – S. 421-439.

8. Nasibov D. R., Abdullaeva P. N. Sozdanie pol'zovatel'skogo interfeisa // Endless light in science. – 2024. – Т. 7. – №. mart 2. – S. 24-29.

9. Tagirova L. F., Subbotin A. V., Zubkova T. M. Programmaya instrumental'naya sistema sozdaniya adaptivnykh pol'zovatel'skikh interfeisov // Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki. – 2022. – Т. 22. – №. 4. – S. 751-759.

10. Tel'nyi A. V., Monakhov M. Yu., Nikolaev A. V., Matveeva E. A. Metodika otsenki zashchishchennosti cheloveko-mashinnogo interfeisa dlya avtomatizirovannogo rabocheho mesta integrirovannoi sistemy bezopasnosti // Zhurnal Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2025. – №. 1. – S. 67-77.

11. Li G., Tang T. Online performance and interface design implications among older adults: A systematic review of eye tracking studies // Applied Ergonomics. – 2025. – Vol. 128. – Article 104538. – DOI: 10.1016/j.apergo.2025.104538.

12. Amouzadeh E., Dianat I., Faradmali J., Babamiri M. Optimizing mobile app design for older adults: systematic review of age-friendly design // Aging Clinical and Experimental Research. – 2025. – Vol. 37. – Article 248. – DOI: 10.1007/s40520-025-03157-7.

13. Wickramathilaka S., Grundy J., Madampe K., Haggag O. Adaptive and accessible user interfaces for seniors through model-driven engineering // Automated Software Engineering. – 2025. – Vol. 32. – Article 74. – DOI: 10.1007/s10515-025-00547-z.

14. Lee C. H., Lee J., Kim D., Kim I., Song H. Designing self-ordering kiosk for older adults: Familiarity design focusing on representation, manipulation, and organization // Computers in Human Behavior. – 2024. – Vol. 156. – Article 108236. – DOI: 10.1016/j.chb.2024.108236.

15. Liu B., Wang C. Elderly-Centric Chromatics: Unraveling the Color Preferences and Visual Needs of the Elderly in Smart APP Interfaces // International Journal of Human-Computer Interaction. – 2025. – Vol. 41. – No. 5. – P. 3527–3536. – DOI: 10.1080/10447318.2024.2338659.

16. World Wide Web Consortium. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. W3C Recommendation. – 2023.

Статья поступила в редакцию 15.12.2025; одобрена после рецензирования 26.01.2026; принята к публикации 15.07.2026.

The article was submitted 15.12.2025; approved after reviewing 26.01.2026; accepted for publication 15.07.2026.