

Научная статья

УДК 159.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С УЧЁТОМ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРЦЕПТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Ульянина Ольга Александровна, Доктор психологических наук, Доцент,
Московский государственный психолого-педагогический университет,
Федеральный координационный центр по обеспечению..., Россия, Москва,
Руководитель Федерального координационного центра...,
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. В структуре профессиональной надёжности ключевое значение приобретает согласованное функционирование зрительного анализатора, центральных механизмов обработки информации и моторных исполнительных звеньев, обеспечивающих сохранение точности и скорости реакций при длительном мониторинге технических систем. Данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки специализированной эргономической конструкции, последовательно интегрирующей возрастные психофизиологические закономерности, адаптивные алгоритмы отображения данных и протоколы снижения когнитивной нагрузки. В работе представлена архитектура проектной модели, включающая дифференцированные уровни параметров интерфейса и механизмы их калибровки под индивидуальные перцептивные профили 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 механизма количественного сопряжения параметров возрастного снижения сенсомоторных функций с проектными характеристиками человеко-машинных интерфейсов, адаптированных для задач промышленной и производственной эксплуатации.

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

Olga Aleksandrovna Ulyanina, Doctor of Psychology, Associate Professor, Moscow State Psychological and Pedagogical University, Federal Coordination Center for Ensuring..., Moscow, Russia, Head of the Federal Coordination Center..., 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. In the structure of professional reliability, the coordinated functioning of the visual analyzer, central information processing mechanisms, and motor actuators is crucial, ensuring the preservation of accuracy and reaction speed during long-term monitoring of technical systems. This circumstance necessitates the development of a specialized ergonomic design that consistently integrates age-related psychophysiological patterns, adaptive data display algorithms, and protocols for reducing cognitive load. This paper presents the

architecture of a design model, including differentiated levels of interface parameters and mechanisms for calibrating them to individual operator perceptual profiles. Experimental testing confirmed a significant increase in signal recognition accuracy, a reduction in reaction time to peripheral stimuli, and a decrease in subjective fatigue in a group of specialists 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 personnel age characteristics. The scientific novelty lies in the theoretical and methodological substantiation of a mechanism for quantitatively linking the parameters of age-related decline in sensorimotor functions with the design characteristics of human-machine interfaces adapted for industrial and production applications.

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

Введение. Производственное и информационное пространство обусловлено устойчивой цифровизацией рабочих сред, необходимостью адаптации технических систем под индивидуальные когнитивные и физиологические характеристики 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. Интеграция психологических знаний в процессы создания человеко-машинных систем уменьшает

структурный диссонанс между архитектурой отображения информации и естественными параметрами восприятия [2].

Теоретическое осмысление взаимодействия человека с техническими средствами опирается на базовые положения эргономики, рассматривающей восприятие как активный процесс обработки сенсорных сигналов в условиях конкретной трудовой деятельности. Перцептивные механизмы осуществляют первичную фильтрацию и категоризацию внешних стимулов, преобразуя физические параметры предъявляемой информации в значимые для оператора элементы рабочей среды. При конструировании интерфейсов требуется учитывать статические показатели чувствительности анализаторов и динамические характеристики внимания, скорость переключения между модальностями, а также устойчивость к информационным помехам. Системный анализ перцептивных функций выявляет критические участки, в которых технические решения способны либо компенсировать, либо усугублять возникающие когнитивные затруднения.

Возрастная динамика перцептивных процессов проявляется в постепенном повышении порогов различения стимулов, замедлении темпа обработки зрительных и слуховых сигналов, а также в модификации стратегии распределения внимания при выполнении многокомпонентных задач. Сокращение аккомодационных возможностей и сужение диапазона контрастной чувствительности, непосредственно влияют на скорость опознания символьных элементов и навигационных маркеров. Одновременно с этим фиксируются изменения в механизмах селективного внимания, что требует совершенствование традиционных подходов к организации информационной плотности экранов и временных характеристик отклика программных сред. Закономерности отличаются нелинейным характером и зависят от индивидуальных траекторий старения, накопленного профессионального опыта и степени технической грамотности пользователя, что усложняет формирование универсальных проектных нормативов [3].

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].

Целью настоящего исследования выступает формирование принципов проектирования человеко-машинных интерфейсов, учитывающих возрастные особенности перцептивной обработки информации в профессиональной деятельности. Для достижения поставленной задачи предполагается применение комплексного методологического аппарата, включающего психофизиологическую регистрацию показателей восприятия, моделирование когнитивных нагрузок в контролируемых условиях и апробацию прототипов в ходе производственных испытаний. Внимание уделяется разработке алгоритмов адаптации визуальных и аудиальных параметров интерфейса на основе индивидуальных перцептивных профилей операторов.

Реализация предложенного подхода создаёт условия для повышения устойчивости трудовых процессов, сокращения времени освоения новых программных комплексов и снижения риска профессиональных девиаций у специалистов старших возрастных категорий. Разработанные рекомендации могут быть интегрированы в стандарты отраслевого регулирования, учебные программы подготовки инженеров-эргономистов и корпоративные системы оценки пригодности рабочих мест. Научная новизна работы заключается в систематизации возраст-специфичных перцептивных паттернов и их трансляции

в конкретные проектные параметры интерфейсов, что расширяет теоретический арсенал инженерной психологии.

Обзор литературы. Возрастные трансформации сенсомоторной системы представляют собой многокомпонентный процесс, затрагивающий периферические рецепторные аппараты, основополагающие механизмы обработки информации и моторные исполнительные звенья. Исследования показывают снижение скорости проведения нервных импульсов, уменьшение плотности рецепторных полей и модификацию нейромедиаторного баланса, что в совокупности влияет на временные и точностные характеристики двигательных реакций [5], [6]. Работы, выполненные в парадигме инженерной психологии, акцентируют внимание на том, что данные изменения существенно варьируют в зависимости от модальности стимула, сложности задачи и уровня предварительной тренировки оператора [7], [8].

Зрительная система, являющаяся доминирующим каналом получения информации в большинстве производственных контекстов, претерпевает ряд специфических возрастных модификаций. Сокращение аккомодационной способности хрусталика, уменьшение диаметра зрачка и изменения в сетчатых структурах приводят к повышению порогов контрастной чувствительности, замедлению адаптации к изменению освещённости и сужению эффективного поля зрения. Эти физиологические сдвиги коррелируют с увеличением времени опознания визуальных сигналов, особенно в условиях низкой контрастности или высокой информационной плотности дисплея. Исследования, проведённые с использованием методов электрофизиологии, подтверждают, что латентные периоды зрительных вызванных потенциалов у специалистов старше 50 лет достоверно превышают аналогичные показатели у молодых операторов [9].

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 variability 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 возрастных пользователей 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 25-65 лет, разделённые на четыре возрастные когорты с интервалом в 10 лет. Все участники имели стаж работы с автоматизированными системами управления не менее 3 лет и не предъявляли жалоб на нарушения зрения или моторики, подтверждённые медицинским осмотром.

Диагностика сенсомоторных функций осуществлялась с использованием стандартизированных методик, адаптированных для производственного контекста. Визуальная чувствительность оценивалась посредством измерения

порогов контрастного различения, скорости адаптации к изменению освещённости и времени опознания символов различной сложности при варьировании параметров отображения. Моторные показатели регистрировались с помощью сенсомоторного трекера, фиксирующего временные и пространственные характеристики реакций на зрительные и тактильные стимулы. Проводилась оценка субъективной утомляемости по модифицированной шкале Спилбергера-Ханина, дополненной блоком вопросов, специфичных для взаимодействия с техническими интерфейсами.

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. Данные закономерности дают возможность дифференцировать критические и компенсируемые аспекты возрастного старения при проектировании рабочих сред (таблица 1).

Таблица 1 - Возрастная динамика основных сенсомоторных показателей (средние значения по группам)

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 авторами.

Наиболее резкое ухудшение показателей наблюдается после 55 лет, что соответствует данным о возрастной инволюции зрительного анализатора и замедлении центральных процессов обработки информации. При этом вариабельность показателей внутри возрастных групп увеличивается с возрастом, что свидетельствует о значительной индивидуальной дифференциации траекторий старения и необходимости персонализированного подхода при проектировании интерфейсов.

Сравнительное тестирование прототипов дисплеев продемонстрировало, что эффективность взаимодействия существенно зависит от соответствия параметров отображения возрастным особенностям восприятия. Интерфейсы с повышенной контрастностью и увеличенным размером критически важных элементов обеспечивали достоверно более высокие показатели точности и скорости выполнения задач у специалистов старших возрастных групп, не снижая эффективности работы молодых операторов. Цветовая кодировка с учётом возрастных изменений цветовосприятия также способствовала уменьшению количества ошибок интерпретации информации.

Универсальные параметры интерфейса не обеспечивают оптимальных условий для всех возрастных категорий. Адаптивные режимы отображения, варьирующие характеристики представления информации в зависимости от индивидуальных особенностей оператора, представляют собой перспективное направление развития эргономичных систем. При этом нужно сохранять возможность ручной настройки параметров, поскольку субъективные предпочтения не всегда полностью совпадают с объективно измеряемыми показателями эффективности.

Выявление критериев доступности и сокращения утомляемости осуществлялось на основе интеграции объективных показателей деятельности и субъективных оценок комфорта. Установлено, что ключевыми факторами, определяющими доступность интерфейса для специалистов старших возрастных

групп, являются: минимальный порог контрастности не ниже 7:1 для текстовой информации, размер шрифта не менее 14 пунктов для основных элементов управления, временной интервал между сменой критически важных сигналов не менее 800 мс. Соблюдение данных параметров снижает субъективную утомляемость на 30-40% без ущерба для общей производительности труда.

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 - Проектные параметры эргономических стандартов для оборудования с учётом возрастных особенностей

Категория	Базовый уровень	Адаптируемый уровень	Дополнительные опции
Визуальное отображение	Контрастность $\geq$ 7:1	Регулировка яркости и цветовой температуры	Персональные профили отображения
	Шрифт $\geq$ 14 пт		
Временные характеристики	Минимальная длительность	Адаптивная скорость	Возможность ручной задержки

	сигнала 800 мс	обновления интерфейса	критических уведомлений
Моторные элементы управления	Размер кнопок $\geq$ 12×12 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 авторами.

Базовый уровень обеспечивает минимально достаточные условия доступности для большинства пользователей, включая специалистов старших возрастных групп. Адаптируемый уровень позволяет учитывать индивидуальные различия в перцептивных и моторных возможностях, что особенно актуально в условиях разнородного по возрастному составу коллектива. Дополнительные опции создают резерв для дальнейшей персонализации рабочей среды, способствуя долгосрочному поддержанию работоспособности.

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. Возрастные трансформации сенсомоторной системы - гетерохронный процесс, характеризующийся неравномерностью изменений различных компонентов перцептивно-моторного взаимодействия. Установлено, что наиболее существенные сдвиги затрагивают параметры контрастной чувствительности, скорость обработки периферических стимулов и временные характеристики реакции на сложные сигналы, базовые моторные навыки демонстрируют относительную сохранность до поздних этапов профессиональной карьеры. Присутствует возможность компенсации возрастных ограничений за счёт целенаправленной модификации параметров человеко-машинного интерфейса без значительной корректировки структуры трудовой деятельности.

Результаты сравнительного тестирования прототипов дисплеев свидетельствуют о том, что эффективность взаимодействия оператора с технической системой определяется не абсолютными значениями отдельных параметров отображения, а их согласованностью с индивидуальными характеристиками восприятия. Повышение контрастности до уровня не ниже семи к единице, увеличение размера критически важных элементов управления и оптимизация временных интервалов обновления информации обеспечивают достоверное улучшение показателей точности и скорости выполнения задач у специалистов старших возрастных групп. При этом модификации не оказывают негативного влияния на производительность молодых операторов, что подтверждает целесообразность внедрения адаптированных параметров в качестве базовых стандартов для производственного оборудования.

Выявленные критерии доступности интерфейсов формируют эмпирическую основу для разработки нормативных требований, учитывающих возрастную состав персонала. Минимальный размер шрифта в 14 пт, временной лаг между сменой значимых сигналов не менее 800 мс и тактильная обратная связь с регулируемой интенсивностью обозначают конкретные проектные

решения, направленные на снижение когнитивной нагрузки и профилактику утомления. Применение данных параметров в практике проектирования способствует сглаживанию возрастных различий в эффективности трудовой деятельности и поддерживает высокий уровень безопасности при эксплуатации автоматизированных систем.

Разработанные эргономические стандарты дифференцированы по уровням обязательности и адаптивности, что обеспечивает их гибкое применение в различных производственных контекстах. Базовый уровень устанавливает минимально достаточные условия доступности, адаптируемый уровень даёт возможность учитывать индивидуальные особенности оператора, а дополнительные опции приводят к персонализации рабочей среды.

Интеграция полученных данных в практику проектирования человеко-машинных систем подразумевает имплементацию системного подхода, включающего технические модификации интерфейсов, организационные меры по поддержке возрастных специалистов. Обучение персонала работе с адаптированными интерфейсами, периодическая оценка соответствия рабочих мест перцептивным аспектам операторов и внедрение механизмов обратной связи для корректировки параметров отображения представляют собой взаимодополняющие компоненты комплексной стратегии повышения эргономичности производственной среды. Реализация данной стратегии способствует сохранению профессиональной компетентности стареющих специалистов, оптимизации общих показателей эффективности предприятия.

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.

References

1. Glukhova E. D., Anokhin A. N., Zerkalnikov D. A. Methodology for systems design of the human-machine interface of an aviation multifunctional control panel // Modeling and data analysis. - 2025. - Vol. 15. - No. 3. - P. 7-26.
2. Zybin E. Yu., Kosyanchuk V. V., Zemkin V. A. Aviation human-machine interfaces: status and development prospects // Resources for the competitiveness of athletes: theory and practice of implementation. - 2022. - No. 10. - P. 211.
3. Spasennikov V. V., Sudarik A. N., Fedotov S. N. Analysis of ergotechnical results of inventive solutions in the field of simulator construction of human-machine systems // Psychology and pedagogy of service activity. – 2024. – No. 2. – P. 67-75.
4. Alekhina I. G., Dushin A. V., Zhedyaevsky D. N., Kalashnikov P. K., Martynov V. G., Podufalov N. D., Savenkov A. On the development of didactic systems in the context of digital transformation of professional education (part 1) // Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Informatization of education. – 2025. – Vol. 22. – No. 1. – P. 7-36.
5. Makarenko S. I. Technical interoperability and ergonomics of human-machine interfaces of network-centric systems // Journal of Radio Electronics. – 2022. – Vol. 3. – P. 1684-1719.
6. Uali A. B., Naukenova A. S., Korsun O. N., Tulekbaeva A. K., Glukhova E. D., Glukhov M. A. Methodology for developing a human-machine interface in a system for supporting industrial installation operators during emergency response // Bulletin of the N.E. Bauman Moscow State Technical University. Series "Instrument Engineering". - 2023. - No. 1 (142). - P. 98-116.
7. Smirnov A. V., Levashova T. V. Ontology of human-machine collaboration patterns to support decision making // Design Ontology. - 2024. - Vol. 14. - No. 3. - P. 421-439.
8. Nasibov D. R., Abdullaeva P. N. Creating a user interface // Endless light in science.

– 2024. – Vol. 7. – No. March 2. – P. 24-29.

9. Tagirova L. F., Subbotin A. V., Zubkova T. M. Software tool system for creating adaptive user interfaces // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2022. – Vol. 22. – No. 4. – P. 751-759.

10. Telny A. V., Monakhov M. Yu., Nikolaev A. V., Matveeva E. A. Methodology for assessing the security of the human-machine interface for the automated workstation of the integrated security system // Journal of Modern Science-Intensive Technologies. – 2025. – No. 1. – P. 67-77.

Статья поступила в редакцию 15.12.2025; одобрена после рецензирования 26.01.2026; принята к публикации 26.03.2026.

The article was submitted 15.12.2025; approved after reviewing 26.01.2026; accepted for publication 26.03.2026.