

ЭВОЛЮЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

EVOLUTION OF HUMAN-MACHINE INTERACTION IN ERGATIC SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

П. И. Балтрукович,

доцент кафедры инженерной психологии и эргономики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», канд. техн. наук, доцент,
г. Минск, Республика Беларусь

Л. П. Пилиневич,

профессор кафедры инженерной психологии и эргономики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», д-р техн. наук, профессор,
г. Минск, Республика Беларусь

P. Baltrukovich,

Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Minsk, Republic of Belarus

L. Pilinevich,

Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 01.04.2025.

В статье исследуется влияние искусственного интеллекта на эргатические системы «человек — машина — среда» с акцентом на повышение эффективности, безопасности и адаптивности. Особенностью является применение искусственного интеллекта для оптимизации принятия решений через системы поддержки, снижение когнитивной нагрузки оператора и минимизацию ошибок, вызванных человеческим фактором. Предложены методы анализа корреляционных функций для оценки степени автоматизации, а также адаптивные алгоритмы в энергетике и транспорте. Особое внимание уделено объяснимому искусственному интеллекту (Explainable AI) для повышения доверия операторов. Результаты

выполненных исследований демонстрируют перспективность ИИ в прогнозировании аварий и управлении динамическими системами, что открывает пути к созданию более надежных эргатических комплексов.

The article examines the impact of artificial intelligence on human-machine-environment ergatic systems with an emphasis on improving efficiency, safety, and adaptability. A special feature is the use of AI to optimize decision-making through support systems, reduce the operator's cognitive load, and minimize errors caused by the human factor. Methods for analyzing correlation functions to assess the degree of automation, as well as adaptive algorithms in energy and transport, are proposed. Particular attention is paid to Explainable AI to increase operator confidence. The results of the studies demonstrate the promise of AI in predicting accidents and managing dynamic systems, which opens the way to creating more reliable ergatic complexes.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, эргатические системы, взаимодействие человека и машины.

Keywords: artificial intelligence technologies, ergatic systems, human-machine interaction.

Введение. Развитие взаимодействия между человеком и машиной в эргатических системах занимает важное место в ряду актуальных научных и технических задач, так как эргатические системы требуют эффективного управления информационными потоками и минимизации когнитивной нагрузки на оператора. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) позволяет автоматизировать рутинные задачи, анализировать большие объемы данных и предоставлять интеллектуальные рекомендации, что значительно повышает эффективность взаимодействия основных компонентов системы [1–3].

Технологии ИИ способны адаптироваться к индивидуальным особенностям пользователя, предсказывать его действия и предлагать оптимальные решения, что особенно важно в условиях динамически изменяющихся сред, таких, например, как управление промышленными процессами, транспортными системами или медицинская диагностика. Совершенствование взаимодействия человека и машины с использованием ИИ открывает новые возможности для создания более эффективных, безопасных и адаптивных систем, способных работать в условиях высокой степени сложности решаемых задач и неопределенности.

Описание эргатической системы и влияние искусственного интеллекта на ее функциональное состояние. Термин «эргатическая система» впервые был принят в 1960 г. на Первом конгрессе Международной федерации по автоматическому управлению в целях обозначения систем, включающих человека, который функционирует в совокупности с комплексом технических средств. Позднее содержание данного понятия расширилось, но в общем виде эргатическая система — это любая система, работающая с участием человека. Таким образом, в настоящее время эргатическая система представляется как сложная структура, в которой взаимодействуют три ключевых компонента: человек, машина и внешняя среда [4]. Функциональное состояние такой системы определяется эффективностью взаимодействия этих элементов, их адаптивностью к изменяющимся условиям и способностью выполнять поставленные задачи.

Человек играет центральную роль в своем влиянии на эргатическую систему, однако его возможности ограничены физиологическими и психологическими характеристиками, такими как утомляемость, физическая и когнитивная нагрузки.

Машина, в свою очередь, обеспечивает выполнение поставленных задач, но ее работа зависит от критериев настройки, применяемых алгоритмов, надежности и соответствия требованиям оператора.

Внешняя среда, включая условия производства, климатические факторы или уровень шума, может как способствовать, так и препятствовать эффективной работе системы.

Управление для эргатической системы является ключевой функцией, обеспечивающим эффективность ее работы, координацию взаимодействия между человеком, машиной и внешней средой. В общем случае модель управления эргатической системой можно представить в виде модели «черный ящик» с входами и выходами, который постепенно детализируется до необходимого уровня. С этой целью часто востребован стандарт IDEF0, который применяется при организации проектов, основанных на моделировании процессов (рис. 1) [5].

На рис. 1 действия человека представлены тремя входящими значениями, которые он готовит: решением на действие (фактор активности), критериями (фактор влияния) и алгоритмами (механизм). Внешняя среда также относится к фактору влияния.

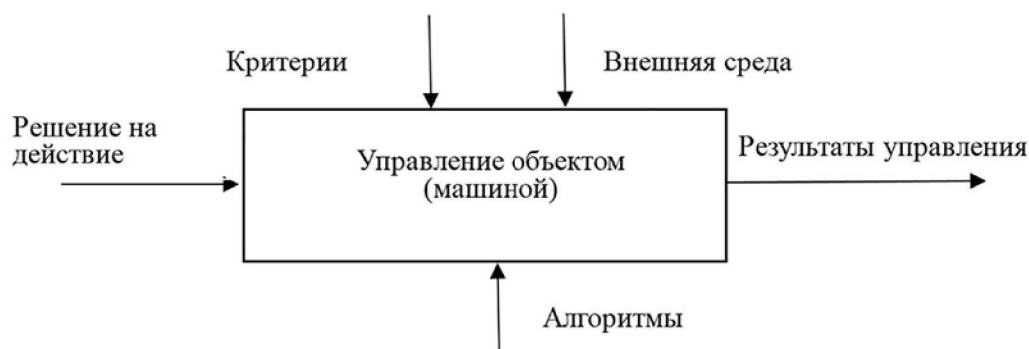


Рис. 1. Общий вид модели управления эргатической системой

Источник: разработка авторов.

Таким образом, оператор управляет машиной с заданными критериями, принимая решения на управление этим устройством (машиной), запуская необходимый алгоритм и реагируя на изменения внешней среды. Характеристики эргатической системы можно определить, используя ее структурную схему (рис. 2) [6].

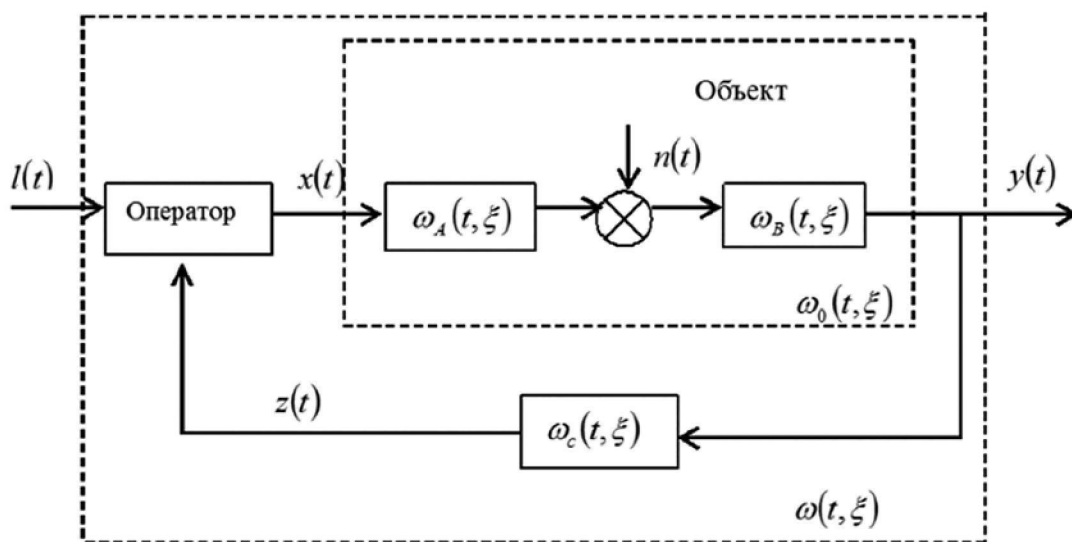


Рис. 2. Структурная схема управляемой эргатической системы:

$l(t)$ — управляющий сигнал (или программа); $x(t)$ — исполнительный сигнал; $z(t)$ — сигнал обратной связи;
 $n(t)$ — помеха (воздействие внешней среды); $y(t)$ — это выходной сигнал системы, который, формируется через свертку с импульсными переходными функциями $\omega_O(t, \xi)$, $\omega_A(t, \xi)$ и $\omega_B(t, \xi)$; $\omega(t, \xi)$ — импульсная переходная функция системы;
 $\omega_O(t, \xi)$ — импульсная переходная функция объекта (может быть представлена как комбинация $\omega_A(t, \xi)$ и $\omega_B(t, \xi)$, например, как их сумма или другая суперпозиция в зависимости от структуры системы);
 $\omega_C(t, \xi)$ — импульсная переходная функция обратной связи; $\omega_A(t, \xi)$ — импульсная переходная функция части объекта, где действием помехи можно пренебречь;
 $\omega_B(t, \xi)$ — импульсная переходная функция части объекта, где следует учитывать действие помехи;
 ξ — момент времени, в который на систему подается входной импульс (например, управляющий сигнал или помеха),
 t — момент времени, в который наблюдается реакция системы на этот импульс

Источник: разработка авторов.

При расчетах характеристик можно воспользоваться математическими формулами, представленными в работе [7]. Так, для управляемой системы, схема которой приведена на рис. 2, справедливо следующее:

$$x(t) = l(t) + z(t), \quad (1)$$

$$F(\tau) = R_{ix}(\tau) - R_i(\tau), \quad (2)$$

где $F(\tau)$ — функция, которая описывает разницу между двумя корреляционными функциями;

τ — временной сдвиг, используемый для анализа корреляционных функций;

$R_{ix}(\tau)$ — взаимная корреляционная функция между двумя сигналами $l(t)$ и $x(t)$;

$R_i(\tau)$ — автокорреляционная функция процесса $l(t)$.

Формула (1) описывает принцип замкнутого управления, который лежит в основе работы эргатических систем и заключается во взаимодействии входного воздействия (управляющего сигнала) и обратной связи для формирования исполнительного сигнала. Этот принцип позволяет системе учитывать как входные команды, так и обратную связь, что делает ее более гибкой, адаптивной и надежной.

В контексте применения ИИ это открывает возможности для создания интеллектуальных систем, способных эффективно взаимодействовать машине с человеком и окружающей средой, учитывая заданные критерии и алгоритмы.

Поскольку функция $F(\tau)$ отражает эффективность, устойчивость и другие характеристики системы, то, проведя расчет по формуле (2), мы можем оценить, насколько взаимная корреляция между процессами $l(t)$ и $x(t)$ отличается от автокорреляции процесса $l(t)$.

Если $F(\tau)$ будет близко к нулю, это может указывать на слабую связь между процессами, что позволяет говорить о снижении роли оператора (человеческого фактора) и высокой степени автоматизации системы. Если $F(\tau)$ значительно отличается от нуля, это говорит о наличии сильного влияния одного процесса на другой, что предполагает возрастание роли оператора. Это может свидетельствовать о недостаточной автоматизации или о том, что система плохо адаптирована к работе с человеком. Учет этих параметров важен для оценки степени зависимости между ними и принятия оптимальной технологии ИИ.

Вместе с тем следует отметить, что формализованное описание системы не всегда возможно и тогда возникает необходимость использования итеративных методов [6, 7].

Таким образом, применение ИИ в эргатических системах открывает новые возможности влияния на управление объектом. С учетом изложенного рассмотрим подробнее потенциальные возможности применения инновационных технологий ИИ, позволяющие повысить эффективность процессов принятия решений, безопасность и надежность их функционирования.

Оптимизация процессов принятия решений в эргатических системах представляет собой сложную задачу. Эргатические системы требуют эффективного управления информационными потоками и минимизации когнитивной нагрузки на оператора, поэтому широко практикуется интегрирование ИИ в системы поддержки принятия решений, где он анализирует текущее состояние системы, предлагает возможные сценарии действий и оценивает их последствия. Так, в работе [8] описана подобная система поддержки принятия решений (СППР), применяемая для защиты окружающей среды. В целом СППР для различных сфер деятельности позволяют операторам сосредоточиться на стратегических аспектах, делегируя аналитические задачи машине.

СППР незаменимы в авиации, поскольку, несмотря на постоянное развитие технологий, повышение автоматизации, которая позволяет снять часть нагрузки с пилота, улучшение систем безопасности, авиационные происшествия по-прежнему продолжают происходить по всему миру. Одной из основных причин таких происшествий сегодня остается человеческий фактор, который может проявляться как в ошибках пилотов, так и в недостаточной квалификации персонала или неправильном выполнении процедур [9]. В данной ситуации важным направлением оптимизации эргатических систем является использование методов машинного обучения, таких как нейронные сети, для прогнозирования и классификации ситуаций. В результате алгоритмы глубокого обучения способны выявлять сложные паттерны в данных [10], что особенно полезно в условиях неопределенности или при работе с неполной информацией.

Однако в подобных случаях внедрение ИИ в эргатические системы сопряжено с рядом вызовов, связанных с недоверием операторов действиям ИИ, что способствует разработке и продвижению систем с прозрачными алгоритмами. Для решения таких задач предложены методы объяснимого ИИ, которые способны раскрыть свои действия и принимать решения понятным для людей образом.

Важным элементом оптимизации является адаптивность ИИ-алгоритмов, которые могут обучаться на основе обратной связи и изменять свои модели в зависимости от новых данных. Имеется много прикладных примеров этому, касающихся различных сфер деятельности. Остановимся на одном из них. В работе, опубликованной в Новосибирском государственном техническом университете, разработан и апробирован адаптивный алгоритм речевого интеллекта для решения оптимизационных задач в электроэнергетике и доказана высокая эффективность этих алгоритмов в повышении устойчивости электроэнергетических систем за счет автоматической адаптации под различные условия [11].

Таким образом, оптимизация процессов принятия решений в эргатических системах с использованием ИИ является перспективным, но сложным направлением. Несмотря на развитие автоматизации, человеческий фактор остается основной причиной ошибок, что подчеркивает необходимость развития интеллектуальных систем поддержки.

Повышение безопасности и надежности эргатических систем является одной из первостепенных задач в современных условиях, где человеко-машинные взаимодействия становятся все более сложными и ответственными. Такая постановка задачи связана с тем, что эргатические системы часто функционируют в критически важных областях, таких как авиация, энергетика, транспорт, медицина и др., где ошибки могут привести к тяжелым последствиям. Так, статистика эксплуатации технически сложных систем свидетельствует о том, что на долю человеческого фактора приходится от 40 до 70 % всех отказов. В соответствии с мировой статистикой 80 % катастроф в авиации и 64 % на морском флоте происходит в результате ошибок человека. В атомной энергетике эта цифра достигает 70 % [12].

ИИ, благодаря своей способности анализировать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и адаптироваться к изменяющимся условиям, предлагает новые подходы к минимизации рисков и повышению устойчивости таких систем. Интеграция ИИ позволяет не только повысить эффективность работы систем, но и снизить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, что делает его незаменимым инструментом в современных условиях.

Одним из основных направлений применения ИИ является прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций. В авиации, например, ИИ может анализировать данные о состоянии самолета, действиях пилота и внешних условиях, таких как погода, чтобы предсказать потенциальные угрозы и предложить меры по их устранению. Важным шагом в этом направлении стало создание системы мониторинга состояния воздушных судов (Aeronautical Message Handling System — AHMS), которая способствовала существенному улучшению показателей технического обслуживания самолетов гражданской авиации. В настоящее время воздушные суда оснащены сложными системами AHMS, которые непрерывно отслеживают и анализируют показатели работоспособности критических подсистем, включая двигатели, авионику, гидравлику и структурные компоненты, собирают высокочастотные данные со встроенных датчиков для их постоянного мониторинга. Так, двигатель фирмы Pratt & Whitney PW1000G имеет около 5000 датчиков, способных генерировать до 10 ГБ данных в секунду. Один двухдвигательный самолет со средним временем полета 12 ч может выдавать до 844 ТБ данных, которые можно использовать для обнаружения неисправностей, как только они появляются [13]. Алгоритмы машинного обучения, такие как методы глубокого обучения, позволяют выявлять сложные зависимости в данных, что повышает точность прогнозов и снижает вероятность человеческих ошибок. Кроме того, анализируя данные от датчиков, ИИ способен выявлять ранние признаки износа или перегрузки, что позволяет своевременно проводить техническое обслуживание и предотвращать аварии.

В медицинских эргатических системах (хирургические роботы или системы диагностики) ИИ может повысить безопасность за счет анализа данных в реальном времени и предоставления рекомендаций врачам. Технологии ИИ позволяют также уменьшать количество ошибок, предоставлять данные в режиме реального времени, экономить время и улучшать взаимодействие врача и пациента [14].

В транспортных системах (автономные автомобили или системы управления железнодорожным транспортом) ИИ играет ключевую роль в обеспечении безопасности. Алгоритмы ИИ анализируют

данные с камер, лидаров и других датчиков, чтобы предсказать поведение других участников движения и избежать столкновений. В случае с автономными автомобилями ИИ также учитывает такие факторы, как дорожные условия и состояние транспортного средства, чтобы принимать оптимальные решения в реальном времени [15].

В промышленных эргатических системах ИИ может повысить надежность за счет оптимизации процессов и минимизации рисков. Например, в нефтегазовой отрасли ИИ анализирует данные о состоянии оборудования и условиях эксплуатации, чтобы предсказать возможные аварии, такие как утечки или взрывы, и предложить меры по их предотвращению [16]. Это не только повышает безопасность, но и снижает затраты на ремонт и простои.

В то же время внедрение ИИ в эргатические системы требует решения ряда проблем, таких как обеспечение устойчивости алгоритмов к кибератакам, минимизация ложных срабатываний и обеспечение совместимости с существующими технологиями. Для этого применяются методы тестирования и валидации, которые позволяют оценить надежность и безопасность систем до их внедрения. Кроме того, важно учитывать человеческий фактор, так как даже самые совершенные системы требуют взаимодействия с оператором. В этом контексте ИИ может быть использован для снижения когнитивной нагрузки на человека, предоставляя ему только необходимую информацию и рекомендации.

Таким образом, использование ИИ для повышения безопасности и надежности эргатических систем открывает широкие возможности для минимизации рисков и повышения эффективности.

Заключение. Проведенные исследования свидетельствуют, что ИИ способен значительно повысить эффективность эргатических систем за счет автоматизации процессов решения сложных задач, анализа больших объемов данных и адаптации к индивидуальным особенностям оператора. В статье особое внимание уделено инновационной роли ИИ в оптимизации процессов принятия решений, повышении безопасности и надежности эргатических систем в критически важных областях.

Результаты исследования имеют важное прикладное значение для проектирования и модернизации эргатических систем в различных отраслях. Внедрение предложенных методов, включая объяснимый ИИ и адаптивные алгоритмы, создают условия:

- для снижения количества аварий за счет повышения безопасности и надежности эргатических систем, например в авиации и энергетике;
- оптимизации взаимодействия оператора с системой, что связано с уменьшением когнитивной нагрузки на оператора;
- повышения доверия к ИИ-решениям за счет прозрачности алгоритмов, что критически важно в медицине и транспорте.

Дальнейшее совершенствование взаимодействия человека и машины в эргатических системах с использованием технологий ИИ позволит создавать более эффективные, безопасные и гибкие эргатические системы, минимизирующие влияние человеческого фактора и работающие в условиях высокой неопределенности.

Используемые источники информации:

1. Алборова, В. В. Искусственный интеллект: автоматизация процессов и интеллектуальные системы управления производством / В. В. Алборова, Ю. В. Перевозчикова, С. В. Пальмов // Индустриальная экономика. — 2024. — № 1. — С. 39–43.
2. Сопина, Н. В. Перспективы внедрения нейросетей и искусственного интеллекта на промышленном производстве / Н. В. Сопина, С.-А. Р. Маккаева // Journal of Monetary Economics. — 2023. — № 3. — Р. 222–227.
3. Афанасьев, В. И. Интеграция искусственного интеллекта в современных отраслях экономики: актуальная практика / В. И. Афанасьев // Экономика и управление: проблемы, решения. — 2024. — Т. 5. — № 5. — С. 50–60.
4. Павлова, А. М. Психология труда: учеб. пособие / А. М. Павлова; под ред. Э. Ф. Зеера. — Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. — 156 с.
5. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования = Рекомендации по стандартизации: ГОСТ Р 50.1.028-2001. — Введ. 02.07.2001. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. — 50 с.
6. Данилов, А. М. Структурирование эргатических систем / А. М. Данилов, А. С. Давыдов // Современные научные исследования и инновации. — 2015. — № 3. — Ч. 1 (47). — С. 167–170.

7. Данилов, А. М. Подходы к анализу и синтезу эргатических систем / А. М. Данилов, И. А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. — 2015. — № 4. — 109–114.
8. Салимханова, А. С. Использование искусственного интеллекта и системы поддержки принятия решений в области защиты окружающей среды / А. С. Салимханова // Вестник Казахстанско-Британского технического университета / Физико-математические и технические науки. — 2021. — № 1 (56). — С. 143–149.
9. Кричевский, С. В. История безопасности полетов: методология, опыт, перспективы / С. В. Кричевский // Научный Вестник МГТУ ГА. — 2023. — Т. 26. — № 2. — С. 8–17.
10. LeCun, Y. Deep learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // Nature. — 2015. — No. 521 (7553). — P. 436–444.
11. Матренин, П. В. Разработка адаптивных алгоритмов речевого интеллекта в проектировании и управлении техническими системами: дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / П. В. Матренин. — Новосибирск, 2018. — 197 л.
12. Инженерная психология и эргономика: учебник для вузов / под ред. Е. А. Климова, О. Г. Носковой, Г. Н. Солнцевой. — М.: Юрайт, 2021. — 180 с.
13. Никитенко, А. А. Влияние процессов цифровизации на развитие мирового рынка услуг по обеспечению летной годности гражданских самолетов / А. А. Никитенко // Российский внешнеэкономический вестник. — 2020. — № 5. — С. 53–59.
14. Ламоткин, А. И. Искусственный интеллект в здравоохранении и медицине: история ключевых событий, его значимость для врачей, уровень развития в разных странах / А. И. Ламоткин [и др.] // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. — 2024. — № 17 (2). — 243–250.
15. Суфиянов, Р. Ш. Применение элементов искусственного интеллекта в современных автомобилях / Р. Ш. Суфиянов // Тенденции развития науки и образования. — 2022. — № 82-2. — С. 90–93.
16. Чекулаев, В. О. Будущее добывающей промышленности: роль искусственного интеллекта / В. О. Чекулаев // Бизнес-образование в экономике знаний. — 2024. — № 1. — С. 139–143.