

УДК 004.5:630

DOI 10.17513/snt.39700

## КОНЦЕПЦИЯ ЧЕЛОВЕКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Стешина Л.А., Петухов И.В.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола,  
e-mail: Steshinala@volgatech.net

Эффективность современных технологических систем, относящихся в своем абсолютном большинстве к классу сложных систем, зависит от множества факторов, в том числе и от уровня человеко-машинного взаимодействия. Принципы человеко-ориентированного проектирования определяют требования к системе обеспечения к эргономике взаимодействия. Организация взаимодействия между человеком-оператором и технологической системой возможна на сенсорном, когнитивном и моторном уровнях. В статье представлен теоретический анализ влияния организации человеко-машинного интерфейса на эффективность операторской деятельности с позиции современных сложных систем. Разработана модель процесса человеко-машинного взаимодействия, включающая контур поддержки операторской деятельности посредством интеллектуального ассистента. Представлена модель интеллектуальной поддержки операторской деятельности, реализующей непрерывное распределение функций между оператором и технической системой в зависимости от эффективности выполнения отдельных операторских действий и состояния самого оператора. Основой для принятия решений о выборе способа и формы представления информации оператору выступает модель «информационных потоков», агрегирующая информацию, полученную от различных сенсорных источников в условиях изменения функционального состояния оператора и условий его деятельности. Использование такого подхода позволит обеспечить повышение качества управления в повышении доверия оператора к системам искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** эффективность технологической системы, человеко-ориентированное проектирование, человек-оператор, интеллектуальный ассистент

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00568 «Методы и интеллектуальная система поддержки динамической устойчивости операторов эргатических систем», <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>.*

## CONCEPT OF HUMAN-ORIENTED DESIGN OF COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Steshina L.A., Petukhov I.V.

Volga state university of technology, Yoshkar-Ola, e-mail: Steshinala@volgatech.net

The efficiency of modern technological systems, which in their absolute majority belong to the class of complex systems, depends on many factors, including the level of human-machine interaction. The principles of human-centered design determine the requirements for the support system for the ergonomics of interaction. The organization of interaction between a human operator and a technological system is possible at the sensory, cognitive and motor levels. The article presents a theoretical analysis of the influence of the organization of a human-machine interface on the efficiency of operator activity from the standpoint of modern complex systems. A model of the process of human-machine interaction has been developed, including a circuit for supporting operator activity through an intelligent assistant. A model of intelligent support for operator activity is presented, which implements a continuous distribution of functions between the operator and the technical system, depending on the efficiency of performing individual operator actions and the state of the operator himself. The basis for making decisions on the choice of the method and form of presenting information to the operator is the "information flow" model, which aggregates information received from various sensory sources in conditions of a change in the functional state of the operator and the conditions of his activity. The use of this approach will improve the quality of management in order to increase the operator's confidence in artificial intelligence systems.

**Keywords:** technological system efficiency, human-oriented design, human operator, intelligent assistant

*The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-19-00568 «Methods and an intelligent system for supporting the dynamic stability of operators of ergatic systems», <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>.*

Проблемы взаимодействия оператора и сложных технологических систем в условиях возрастающей интеллектуальной мощи последних являются одними из важнейших проблем современной эргономики [1].

В литературе описано явление техномодификации психики – перестройки когни-

тивных моделей взаимодействия человека с объектами естественного и искусственного мира, взаимодействия с искусственным интеллектом и техносферой [2].

Искусственный интеллект обладает сегодня возможностями, значительно превосходящими когнитивные возможности

человека. Это определило широкое использование систем поддержки принятия решений (СППР) в самых различных отраслях: сельском хозяйстве [3], автоматизированных системах управления военного назначения [4], при разработке месторождений полезных ископаемых [5].

Наибольшую сложность в этих условиях представляет процедура интеллектуального симбиоза решения, принятого интеллектуальной системой, и решения, принятого оператором [6; 7]. Концепция симбиоза естественного и искусственного интеллекта представлена в так называемых гибридных интеллектуальных системах [8]. Вместе с этим известна проблема предвзятости искусственного интеллекта [9]. В системах, в которых решающее право голоса отводится человеку, известна проблема доверия между человеком и искусственным интеллектом [10]. Так, установлено, что люди более склонны доверять когнитивным агентам, нежели другим людям. При этом, если возникает подозрение в злонамеренности действий когнитивного агента, большую враждебность и недоверие люди испытывают именно к человекоподобным роботам, чем к машинам [11].

В связи с этим проблема повышения доверия человека-оператора искусственному интеллекту и интеллектуальным системам поддержки принятия решений является важной и актуальной задачей, определяющей в ближайшее время главный тренд промышленной автоматизации.

Целью статьи является разработка концепции взаимодействия человека-оператора и технической системы поддержки принятия решений.

Научная новизна предложенного подхода заключается в использовании интеллектуального ассистента, реализующего идеологию «мягкого» бесконфликтного управления, основанную на прогнозировании действий человека-оператора в контуре управления и повышении уровня доверительности между машиной и человеком.

#### *Теоретическое обоснование*

Решение проблемы повышения уровня взаимодействия человека и технологической системы во многом лежит в области инженерной психологии и эргатики. При принятии решений человек-оператор получает сигналы внешнего мира и, на основе сформированных в процессе обучения и предыдущего опыта концептуальных моделей, формирует моторную программу управления.

В этих условиях ошибочные действия могут быть на всех трех уровнях операторского реагирования: сенсорном, когнитивном и моторном. С помощью системы поддержки операторской деятельности – интеллектуального ассистента можно снизить количество ошибочных решений на каждом уровне (рис. 1).

Так как изменений технической системы не предполагается, то считаем, что информация, получаемая оператором от технической системы, уже прошла агрегирование на своем уровне и является условно достаточной для принятия решений.

Информацию, с которой сталкивается оператор в процессе своей профессиональной деятельности, можно условно разделить на 4 вида, которые представлены в таблице.

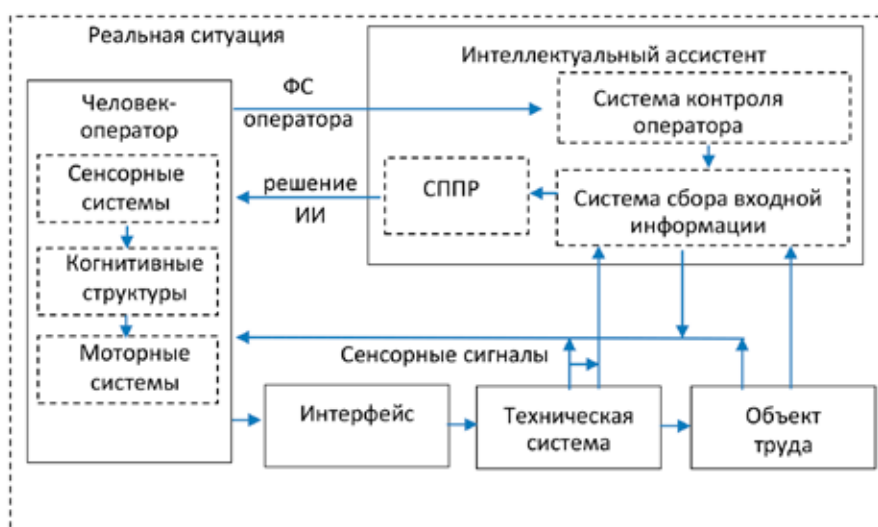


Рис. 1. Модель человеко-машинного взаимодействия с участием интеллектуального ассистента

## Виды информации и необходимость реагирования на нее

Виды информации	Необходимость реакции ЛПП	Уровень важности	Необходимость реакции ИИ
Штатная	не требуется реакция	наименьший	не требуется
Ситуационная	не требует обязательной реакции ЛПП	выше среднего	может требоваться в качестве альтернативы
Критическая	требует незамедлительной реакции	наивысший	требуется в особой форме представления
Заблаговременная	требует отложенной реакции ЛПП	средний	требуется обязательно

Как следует из таблицы, в зависимости от важности и типа информации может понадобиться участие искусственного интеллекта в принятии решений.

Считаем, что при принятии решения человек-оператор опирается на входную информацию и выносит решение на уровне логического (понимание структуры процесса, внутренних взаимосвязей, причинно-следственных связей) и иррационального мышления (интуитивное восприятие). Оба типа мышления находятся в обратной зависимости друг от друга, то есть при повышении активности мышления одного типа – другой тип мышления затормаживается.

Решение, предлагаемое искусственным интеллектом, является альтернативным решением, предлагаемым человеку-оператору в качестве пространства возможностей.

При этом процедура принятия конечно-го решения оператором зависит:

- от уровня субъективного доверия оператора к самому себе (субъективной оценке своего функционального состояния, субъективной оценке своих возможностей и способностей);

- уровня доверия к технической системе (достоверности информационных сигналов, соответствия заявленным характеристикам и режимам работы);

- уровня доверия к искусственному интеллекту, реализованному в интеллектуальном ассистенте.

В свою очередь, интеллектуальный ассистент также должен обладать рядом характеристик:

- иметь полный объем входной информации, которым обладает оператор, принимающий решение;

- иметь информацию о текущем психофизиологическом состоянии оператора для оценки адекватности его действий;

- учитывать модель состояния оператора для прогнозирования действий последнего в различных условиях;

- обладать большим набором входной информации для повышения точности принимаемых решений;

- обладать гибкостью в части реализации функции дружелюбности и настойчивости по отношению к ЛПП.

Помимо вышеперечисленных, ИИ, конечно, должен обладать и иными характеристиками, определяющими качество принятия решения, например в части обеспечения репрезентативности выборки исходных данных.

Принято считать, что для принятия правильного решения лицо, принимающее решение (ЛПП), в качестве которого выступает оператор, должно обладать:

- максимально возможным объемом входной информации и наработанными программами сенсорного реагирования;

- верифицированными когнитивными моделями формирования концептуального системного описания текущей ситуации, генерации альтернатив действия и их сравнения с учетом целеполагания;

- наработанными программами моторного реагирования.

Интеллектуальный ассистент в этих условиях может обеспечить интеллектуальную поддержку оператора на каждом уровне операторского реагирования, как показано на рисунке 2.

Так, в случае если результаты управления, демонстрируемые оператором, являются неудовлетворительными по мнению ИИ, выступающего в роли внешнего контролера, (запоздалое реагирование, неадекватные результаты управления), включается интеллектуальный ассистент.

Самого оператора и интеллектуального ассистента можно рассматривать в виде агентов организационной системы, а их взаимодействие – в виде игры. Под игрой понимаем взаимодействие двух сторон, интересы которых не совпадают. Это обусловлено тем, что интересы интеллектуального ассистента можно определить, как повышение качества управления объектом. Такая же задача возлагается и на оператора, но в действительности интересы оператора отличаются от поставленной задачи в силу сложности самого оператора, как биологической и социальной системы.

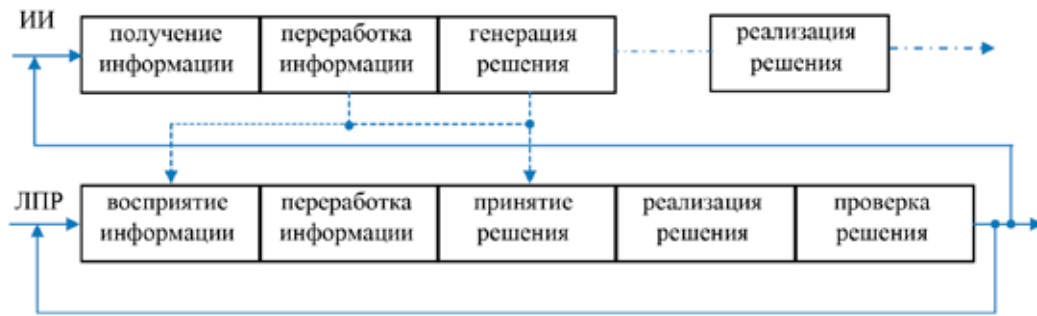


Рис. 2. Интеллектуальная поддержка операторской деятельности

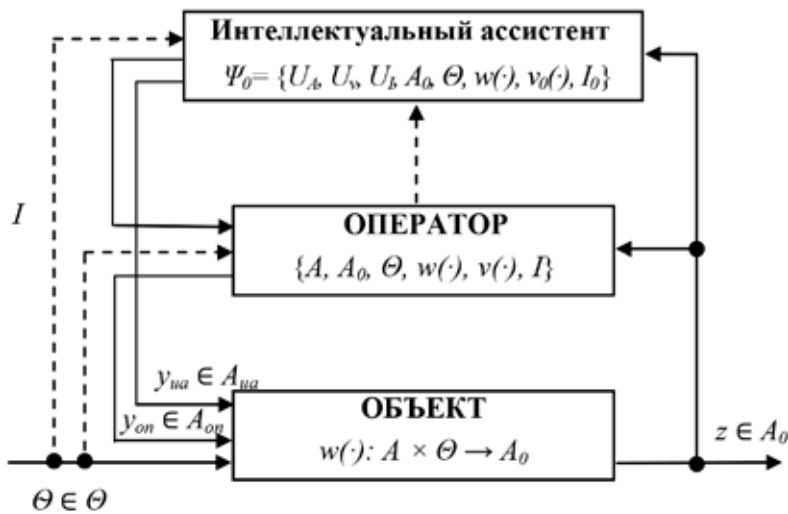


Рис. 3. Модель взаимодействия оператора и интеллектуального ассистента

В соответствии с моделью принятия решений Губко М.В. и Новикова Д.А. [12, с. 17], управление формируется в соответствии с выбираемыми стратегиями:  $U_A$  – институциональное (жесткое) управление,  $U_v$  – мотивационное управление,  $U_I$  – информационное управление. Информационное управление является наиболее «мягким» типом управления и предполагает, что внешний центр управления воздействует на представления агента о параметрах других участников организационной системы. По мнению исследователей, информационное управление является наименее исследованным типом управления.

Модель рационального выбора достаточно подробно описана в работах Новикова Д.А. с соавторами, поэтому представим лишь отличительные моменты от ранее им разработанных структуры и комментариев.

Главным отличием предлагаемой модели принятия решений является наличие связи между оператором и интеллектуальным ассистентом (рис. 3).

В качестве условных обозначений приняты в основном обозначения из цитируе-

мой работы, дабы обеспечить преемственность исследования:  $\{U_A, U_v, U_I\}$  – вектор управления,  $A$  – возможные результаты управления,  $\Theta$  – множество значений обстановки,  $w(\cdot)$  – закон изменения результата деятельности от управляющих действий  $y$  и обстановки,  $v(\cdot)$  – предпочтения центра (функция полезности),  $I$  – информация,  $y$  – действие,  $z$  – результат деятельности оператора. Нижний индекс 0 определяет переменные, выбираемые центром.

В этих условиях человек-оператор на каждом этапе своей профессиональной деятельности выбирает некоторое действие  $y_{on}$  из множества допустимых действий  $A$  ( $y_{on} \in A_{on}$ ) в соответствии с собственной системой предпочтений  $\mathfrak{R}_{A_0}$ . Выбор конкретного действия  $y_{on} \in A_{on}$  осуществляется оператором в соответствии с законом  $W_I(\cdot)$  изменения результата деятельности в зависимости от действия и внешней  $I$  обстановки. На основании правил индивидуального рационального выбора  $P^{W_I}(\mathfrak{R}_{A_0}, A, I) \subseteq A$  оператор формирует предпочтительное действие.

Все допустимые действия по управлению объектом можно представить в виде  $A = A_{on} \cup A_{ua}$ , где  $A_{ua}$  – множество допустимых действий интеллектуального ассистента. Предпочтения оператора представим функцией полезности  $v(\cdot)$ , при этом результат деятельности оператора  $z \in A_0$  будет зависеть от действия  $y \in A$  и обстановки  $\Theta \in \Theta$ :  $z = w(y, \Theta)$ . Тогда закон  $W_i(\cdot)$  определяется функцией  $w(\cdot)$ , отражающей структуру пассивного управляемого объекта, и той информацией  $I$ , которой обладает агент на момент принятия решений о выбираемом действии.

Результат деятельности управления –  $z$ , где  $z \in A_0$ , а  $A_0$  – множество допустимых результатов действия. При этом результат действия не всегда совпадает с самим действием оператора в силу сложности самой системы, влияния внутренних и внешних факторов среды, а также вмешательства в управление интеллектуального ассистента.

Интеллектуальный ассистент в этих условиях формирует свое предпочтительное действие аналогично оператору в соответствии с собственными правилами рационального выбора в зависимости от результата управления и состояния оператора.

### Заключение

Концепция человеко-машинного взаимодействия, коллаборативного управления, коллаборативного интеллектуального проектирования и взаимодействия сегодня достаточно активно обсуждается. Это обусловлено, прежде всего, стремительным ростом возможностей искусственного интеллекта.

Использование современных интеллектуальных методов при проектировании сложных технических систем позволяет значительно расширить класс решаемых задач, характерных для САПР, в условиях неполной и слабо формализованной информации. Интеллектуальная поддержка принятия решений позволяет получить системный эффект и обеспечить научную основу для интеграции систем автоматизированного проектирования и систем принятия решений для обозначенной в работе проблемы человеко-ориентированного проектирования сложных технических систем.

С другой стороны, возможности человека по большей части остаются ограниченными и неизменными. Так, например, ограничения в части обработки информации не позволяют обеспечить оператору рефлексии более чем третьего уровня. Практически и экспериментально установлено, что увеличение объема входной информации в глубину структуры информирован-

ности с определенного уровня не дает выигрыша в части принятия решений и качества управления. Вместе с этим наблюдается техномодификация когнитивных структур человека, последствия которой сегодня оценить невозможно.

В текущих условиях, на наш взгляд, интерес представляет решение классической задачи распределения функций между человеком и машиной в контексте снижения конкурентности между агентами и повышения доверия оператора к системам искусственного интеллекта.

Кроме того, следует проверить гипотезу о зависимости доверия оператора к интеллектуальному ассистенту от его возраста и профессиональных компетенций.

### Список литературы

1. Величковский Б.Б. Психологические проблемы когнитивной эргономики // Мир психологии. 2018. Т. 96, № 4. С. 102-115.
2. Сергеев С.Ф. Психологические проблемы техногенной модификации человека // Мир психологии. 2018. Т. 96, № 4. С. 77-86.
3. Воеводин О.В., Слабунов В.В. Формирование определения термина «система поддержки принятия решений» для применения в проектировании мелиоративных объектов // Мелиорация и гидротехника. 2018. № 4 (32). С. 146-165.
4. Камышан А.Ю. Система поддержки принятия решения в автоматизированной системе управления военного назначения // Военная мысль. 2011. № 7. С. 11-17.
5. Гринев В.Г., Хорольский А.А. Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых // Горно-геологический журнал. 2017. Т. 51, № 3-4. С. 18-24.
6. Машошин А.И., Сергеев С.Ф. Проблема интеллектуального симбиоза при формировании решения командиром подводной лодки // МКПУ-2019: материалы XII мультиконференции по проблемам управления. 2019. С. 148-150.
7. Petukhov I., Steshina L., Tanryverdiev I. Remote sensing of forest stand parameters for automated selection of trees in real-time mode in the process of selective cutting // Proceedings – 2014 IEEE International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing, 2014 IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing, 2014 IEEE International Conference on Scalable Computing and Communications and Associated Symposia/Workshops, UIC-ATC-ScalCom 2014. P. 390-395. DOI:10.1109/UIC-ATC-ScalCom.2014.113.
8. Карякин В.В. Гибридные интеллектуальные системы как симбиоз естественного и искусственного интеллектов // Россия: тенденции и перспективы развития. 2022. № 17-1. С. 652-655.
9. Харитонов Ю.С., Савина В.С., Паньини Ф. Предвзятость алгоритмов искусственного интеллекта: вопросы этики и права // Вестник Пермского университета. Юридические науки. 2021. № 53. С. 488-515.
10. Дозорцев В.М., Венгер А.Л. Взаимодействие человека-оператора с искусственным интеллектом: проблема доверия // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда Учредители: Институт психологии РАН. 2022. Т. 7, № 2. С. 204-232.
11. Yam K.C., Bigman Y., Gray K. Reducing the uncanny valley by dehumanizing humanoid robots // Computers in Human Behavior. 2021. V. 125. P. 106945.
12. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении информационными системами. 2-е изд. М.: ИПУ РАН, 2005. 138 с.