

В. В. Алексеев, А. В. Зайцев, П. С. Лысункин

## МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭРГАТИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА В ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

V. V. Alekseev, A. V. Zaytsev, P. S. Lysunkin

### THE METHODOLOGY FOR IMPROVING THE QUALITY OF ERGATIC ELEMENT IN ERGOTECHNICAL SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Аннотация.** Предлагаемая методология позволяет реализовать математическое и программное обеспечение эрготехнических систем для подсистемы контроля и информационного воздействия на эргатический элемент и обеспечивает повышение уровня профессиональной подготовки специалистов по эксплуатации технических систем. Методология построена на применении математической модели с интегрированной подсистемой контроля и информационного воздействия на эргатический элемент.

**Ключевые слова:** эрготехническая система, сложная система, эргатический элемент, учебная задача, информационная модель, искусственный интеллект, критерий.

**Abstract.** The proposed methodology allows to implement mathematical and software for the subsystem of control and information impact on the ergatic element and provides an increase in the level of training of specialists in the operation of any technical systems. The methodology is based on the application of a mathematical model with an integrated subsystem of control and information impact on the ergatic element.

**Key words:** ergo technical system, a complex system ergatic element, learning task, information model, artificial intelligence, criterion.

### Актуальность

Развитие существующих эрготехнических систем (ЭТС) сопровождается расширением областей их применения.

Основными направлениями совершенствования и создания таких систем являются [1, 2]:

- изучение и исследование космоса;
- беспилотные летательные аппараты;
- роботизированные комплексы.

Характерными чертами, присущими этим системам, является присутствие человека (оператора) как неотъемлемой части (элемента) системы в целом, программно-технической составляющей и искусственного интеллекта (ИИ), основными элементами которого являются база знаний и интеллектуальный интерфейс. Именно искусственный интеллект играет важную роль при функционировании эрготехнических систем. Эти системы берут на себя объем работы, ранее недоступный человеку, но для своей эксплуатации требуют серьезных специальных знаний. Ввиду того, что уровень подготовки операторов разный (базовый уровень подготовки, стаж работы, психофизиологические качества и др.), то и уровень выполнения поставленных задач применительно к данной ЭТС существенно отличается. Для современных эрготехнических систем важно эффективное функционирование системы в целом, поэтому именно качество подготовки оператора выступает на первый план.

ЭТС структурно построены по схожему принципу и состоят из следующих элементов:

- подсистема принятия решения;
- информационная подсистема;
- подсистема управления;
- подсистема моделирования объекта;
- подсистема адаптации.

Информационная подсистема выполняет функцию контроля технического состояния системы и представляет собой набор датчиков и соответствующих алгоритмов, которые выдают точную информацию о текущем техническом состоянии элементов системы.

Подсистема принятия решения выходит на первый план при функционировании системы в целом, так как именно здесь оператор (эргатический элемент (ЭЭ)) принимает либо верное, либо ошибочное решение по выбору наилучшего варианта выполнения поставленной задачи.

Многочисленные исследования показывают, что лица, принимающие решения без дополнительной информационной интеллектуальной поддержки (воздействия), используют упрощенные, а иногда и противоречивые решающие правила.

Это обусловлено тем, что средств контроля действий человека и соответственно средств информационного воздействия на него при необходимости в составе ЭТС на сегодняшний день практически нет. Контроль правильности действий оператора сегодня осуществляется по результату выполнения поставленной задачи (к примеру бортовой регистратор на воздушных судах включен в систему объективного контроля). Соответственно, в современных ЭТС фиксируется результат выполненной задачи оператором, но практически нет возможности воздействовать на эргатический элемент для улучшения эксплуатационных характеристик системы в режиме реального времени в случае его неверных действий для предотвращения срыва поставленной задачи. Конечно, частичные воздействия и контроль сегодня выполняют средства освоения техники, различные тренажеры, но основными их недостатками является то, что все эти средства находятся в отрыве от самой системы и финансовые затраты на закупку и эксплуатацию этих средств значительно высоки. К тому же в условиях быстро развивающихся технических возможностей современных ЭТС необходимо модернизировать, а в некоторых случаях создавать абсолютно новые тренажерные средства, что также приводит к финансовым расходам.

### Формулировка задачи

Научным решением задачи организации контроля действий и информационного воздействия на оператора является интегрирование в уже существующую структуру ЭТС специального режима контроля и информационного воздействия на ЭЭ, который реализуется в виде дополнительной подсистемы. Модель ЭТС с интегрированной подсистемой контроля и информационного воздействия (ПКИИВ) на ЭЭ представлена на рис. 1.

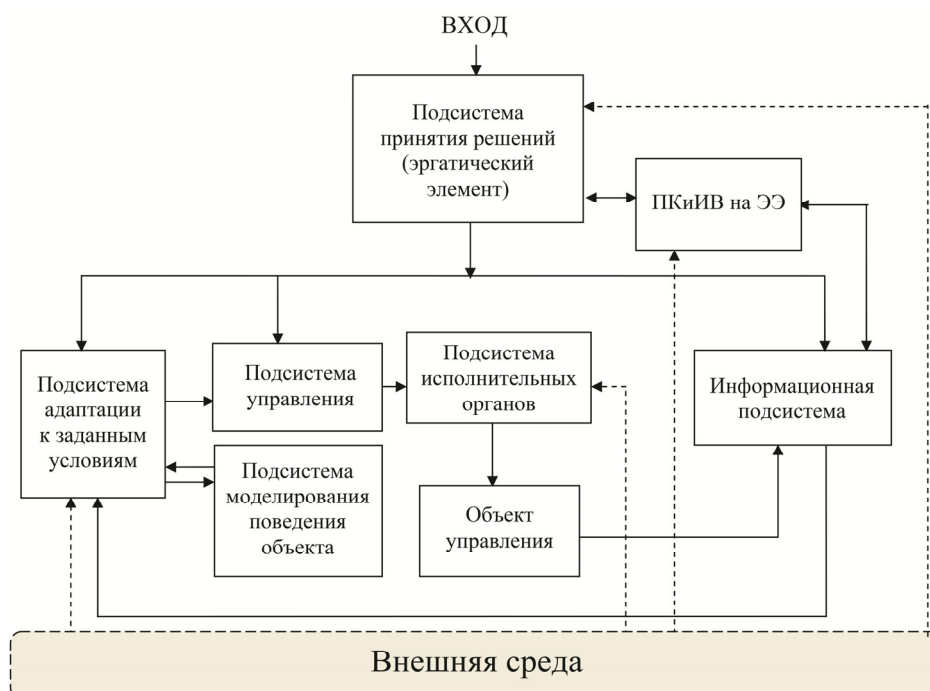


Рис. 1. Модель ЭТС с интегрированной подсистемой контроля и информационного воздействия (ПКИИВ) на ЭЭ

Примером внедрения схожего режима в ЭТС является комплексная система руководства полетами (КСРП-А). Но в данном случае специальный режим применяется лишь только к конкретной ЭТС и ее узкому перечню решаемых задач.

### Решение задачи

Предлагаемая методология повышения качества ЭЭ в ЭТС на основе искусственного интеллекта позволяет реализовать математическое и программное обеспечение для подсистемы контроля и информационного воздействия на ЭЭ, которое интегрируется в любую программную среду.

Данная методология основана на обобщенной математической модели ЭЭ, приведенной в работе [3].

На этой основе разработана математическая модель ЭЭ, реализующая утверждение, что процесс решения человеком какой-либо задачи состоит в применении операции «И» (ИЛИ) для выработки управления путем его моделирования на основе известных решений типовых задач. Деятельность ЭЭ в контуре управления функционированием ЭТС рассматривается как процесс преобразования некоторого исходного состояния технической системы в состояние, обеспечивающее выполнение функциональных задач с требуемым качеством.

В соответствии с этим задача обеспечения человеком-оператором требуемого качества функционирования ЭТС представлена кортежем  $Z$ :

$$Z = \langle P, M_{\text{акт}}, M_{\text{тр}} \rangle,$$

где  $P$  – алгоритм действий для перевода ЭТС из активного состояния в требуемое;  $M_{\text{акт}}$  – текущая (активная), т.е. имеющаяся в рассматриваемый момент времени, информационная модель технического состояния (качества функционирования) системы;  $M_{\text{тр}}$  – информационная модель требуемого технического состояния системы с атрибутами, характеризующими ее нормальное состояние.

В процессе функционирования системы специалисту необходимо сравнивать имеющуюся в рассматриваемый момент времени информационную модель состояния (качества функционирования) ЭТС с информационной моделью требуемого состояния системы.

Именно методология повышения качества эргатического элемента в ЭТС помогает формировать верную модель системы и сравнивать ее с требуемой.

Для обеспечения функционирования подсистемы контроля и информационного воздействия на ЭЭ разработана модель автоматизированного выбора задачи для информационного воздействия на эргатический элемент сложной системы.

Сам процесс выбора верного решения является достаточно сложной итерационной процедурой. Процесс начинается с первоначальной формулировки учебной задачи (УЗ). Эта формулировка позволяет приступить к определению цели и критериев, формированию ограничений, составлению списка возможных вариантов решения. На этом заканчивается 1-й этап. Вся эта работа позволяет уточнить и конкретизировать поставленную УЗ. После этого последовательно разрабатываются постановка наиболее верного решения, математическая модель, выбирается метод принятия решений и разрабатывается алгоритм решения. Проводимый в заключение 2-го этапа анализ решения, полученного по результатам работы алгоритма, может привести либо к пересмотру УЗ и, следовательно, к повторению 1-го и 2-го этапов, либо к пересмотру постановки наиболее верного решения и, следовательно, к повторению только 2-го этапа. Указанные возвраты могут быть и неоднократными. В результате переходят к окончательному принятию решения о выборе УЗ.

Для выбора наилучшего варианта УЗ в предложенной модели использован критериальный подход [4, 5].

Алгоритм реализации модели автоматизированного выбора задачи для информационного воздействия на эргатический элемент сложной системы состоит из шести этапов [6–8].

На первом этапе определяются критерии  $Ri$  и варианты УЗ ( $ak$ ), из которых впоследствии формируются базы (множество) критериев  $\{Ri\}$  и УЗ  $\{ak\}$ .

Исходя из этого, 2-м этапом является оценка каждого критерия весом важности ( $Ri|$ ) (все веса образуют единицу) и определение значений УЗ ( $ak|$ ) по каждому критерию:

$$Ri| \cong Ri * k_{\text{в}};$$

$$ak| \cong ak * k_{\text{з}}.$$

Далее (3-й этап) (проверка на согласованность) осуществляется выбор оптимальных вариантов УТЗ ( $ak^*$ ) по каждому критерию, которые образуют базу оптимальных УЗ  $\{ak^*\}$ :

$$ak^* \equiv ak | \max |Ri|.$$

Под оптимальной понимается та УЗ, показатель которой имеет максимальное значение по одному из критериев, т.е. существует единственная УЗ, удовлетворяющая максимуму  $i$ -го критерия. Согласованное решение предусматривает, что по большинству критериев, используемых в ЗПР, выбрана одна и та же оптимальная УЗ.

Четвертым этапом является определение ситуации задачи принятия решений. Возможны три ситуации ПР: согласованное, несогласованное и конфликт. Сначала определяется, является ли ЗПР согласованной ( $\exists! ak^* \in \max(Ri|)$ ), для каждой оптимальной УЗ существует единственный наиболее важный критерий, если да, то вариант УЗ, который чаще других имел наибольшее значение по критериям, и будет являться наилучшей УЗ для ЗПР. В случае если ЗПР не является согласованной, то необходимо проверить, существует ли в ней конфликт или нет ( $\forall ak^* \exists! Ri|$ ). Конфликт предусматривает, что каждая оптимальная УЗ может быть при нескольких критериях, причем в равном количестве. Несогласованное решение предусматривает, что каждая оптимальная УЗ может быть только при одном критерии.

В зависимости от ситуации на 5-м этапе осуществляется либо разрешение конфликта, либо устранение несогласованности. Каждая из этих операций выполняется поэтапно, количество которых зависит от сложности ситуации.

Заключительным этапом (6-й этап) является окончательное определение варианта УЗ.

### Заключение

Разработка и внедрение подсистемы контроля и информационного воздействия на ЭЭ на основе искусственного интеллекта в состав эрготехнических систем обеспечат повышение уровня профессиональной подготовки специалистов по эксплуатации любых технических систем с присутствием эргатического элемента. В этом виден один из важнейших резервов повышения эффективности применения по назначению ЭТС, в частности, выполнение задач по предназначению, безопасности полетов и т.п.

Методология повышения качества ЭЭ в ЭТС на основе искусственного интеллекта позволяет реализовать математическое и программное обеспечение для подсистемы контроля и информационного воздействия на ЭЭ, которое интегрируется в любую программную среду.

Предлагаемая методология реализуется в виде модели ЭТС с интегрированной подсистемой контроля и информационного воздействия на эргатический элемент, которая позволит в автоматизированном режиме ориентироваться на каждого конкретного специалиста, определять и управлять программой его профессиональной деятельности и подготовки.

Научным решением задачи организации контроля действий и информационного воздействия на оператора является интегрирование в уже существующую структуру ЭТС специального режима контроля и информационного воздействия на ЭЭ, который реализуется в виде дополнительной подсистемы.

Поэтому именно повышение уровня профессиональной подготовки личного состава на основе применения программно-технических средств для автоматизации процесса освоения систем и их эффективного использования при решении задач по предназначению выходит на первый план ввиду достаточно быстрого развития сложных систем с участием человека.

### Библиографический список

1. Тренажерные комплексы и тренажеры: технологии разработки и опыт эксплуатации / В. Е. Шукшунов, В. В. Циблиев, С. И. Потоцкий ; под ред. В. Е. Шукшунова. – М. : Машиностроение, 2005. – 384 с.
2. Интеллектуальные информационные системы и технологии / Ю. Ю. Громов, О. Г. Иванова, В. В. Алексеев, М. П. Беляев, Д. П. Швеи, А. И. Елисеев. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2013. – 244 с.
3. Алексеев, В. В. Моделирование информационного воздействия на эргатический элемент в эрготехнических системах / В. В. Алексеев, С. И. Корыстин, В. А. Малышев, В. В. Сысоев. – М. : Стенвил, 2003. – 163 с.
4. Алексеев, В. В. Анализ методов и моделей принятия решений для исследования слабоструктурированных систем / В. В. Алексеев, Е. В. Соловьева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Управление строительством. – 2015. – № 2 (7). – С. 151–154.

5. Антонова, Г. М. Моделирование процессов для поиска рационального решения / Г. М. Антонова // Информационные технологии. – 1999. – № 1. – С. 9–12.
6. Модели объекта изучения интеллектуальной компьютерной обучающей системы / В. А. Трусов, И. Д. Граб, В. Я. Баннов, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2009. – Т. 1. – С. 237–239.
7. Юрков, Н. К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы : монография / Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – 304 с.
8. Дивеев, А. И. Синтез управления движением мобильного робота по траектории методом интеллектуальной эволюции / А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 1. – С. 188–190.

## References

1. Shukshunov V. E., Tsibliyev V. V., Potocki S. I. *Trenazhernye komplekсы i trenazhery: tekhnologii razrabotki i opyt ehkspluatatsii* [Training complexes and simulators: development technologies and operating experience]. Moscow: Mashinostroyeniye, 2005, p. 384.
2. Gromov Yu. Yu., Ivanova O. G., Alekseev V. V., Belyaev M. P., Shvets D. P., Eliseev A. I. *Intellektual'nye informacionnye sistemy i tekhnologii* [Intellectual information systems and technologies]. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2013, p. 244.
3. Alekseev V. V., Korystin S. I., Malyshev V. A., Sysoev V. V. *Modelirovaniye informacionnogo vozdeystviya na ehrgaticheskij ehlement v ehrgotekhnicheskikh sistemah* [Simulation of information on the ergatic element in ergo-technical systems]. Moscow: Stensvil, 2003, p. 163.
4. Alekseev V. V., Solovyova E. V. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: upravleniye stroitel'stvom* [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: construction management]. 2015, no. 2 (7), pp. 151–154.
5. Antonova G. M. *Informacionnye tekhnologii* [Information Technologies]. 1999, no. 1, pp. 9–12.
6. Trusov V. A., Grab I. D., Bannov V. Ya., Zatylnkin A. V., Yurkov N. K. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Works of the international symposium Reliability and quality]. 2009, vol. 1, pp. 237–239.
7. Yurkov N. K. *Intellektual'nye komp'yuternye obuchayushchie sistemy: monografiya* [Intellectual computer tutoring systems: monograph.]. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2010, p. 304.
8. Diveev A. I., Shmalko E. Yu., Yurkov N. K. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Works of the international symposium Reliability and quality]. 2013, vol. 1, pp. 188–190.

### Алексеев Владимир Витальевич

доктор технических наук, профессор,  
кафедра информационных систем  
и защиты информации,  
Тамбовский государственный  
технический университет  
(392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)  
E-mail: vvalex1961@mail.ru

### Зайцев Александр Владимирович

доктор технических наук, профессор,  
Военная академия Ракетных войск стратегического  
назначения имени Петра Великого  
(143900 Россия, г. Балашиха, ул. Карбышева, 8)  
E-mail: ug253@mail.ru

### Лысункин Павел Сергеевич

старший эксперт,  
отдел Военно-научного комитета  
Воздушно-космических сил  
(119160, г. Москва, ул. Знаменка, 19)  
E-mail: lysunkin@mail.ru

### Alekseev Vladimir Vital'evich

doctor of technical sciences, professor,  
department of information systems  
and information security,  
Tambov State Technical University  
(392000, 106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

### Zaitsev Aleksandr Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,  
Military Academy of Strategic Rocket Forces  
named after Peter the Great  
(143900, 8 Karbysheva street, Balashikha, Russia)

### Lysunkin Pavel Sergeevich

senior expert,  
Department of Military-scientific  
Committee of the aerospace defence forces  
(119160, 19 Znamenka street, Moscow, Russia)

**УДК 371.693.2**

**Алексеев, В. В.**

**Методология повышения качества эргатического элемента в эрготехнических системах на основе искусственного интеллекта / В. В. Алексеев, А. В. Зайцев, П. С. Лысункин // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 17–22. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-3.**