

УДК: 528.02; 528.06

# Эргатические транспортные системы

## Ergatic transport systems

**Цветков В.Я.**, д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС»,

E-mail: cvj7@mail.ru, Москва, Россия

**Tsvetkov V.Ya.**, Doc.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS",

E-mail: cvj7@mail.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В статье исследуется класс эргатических транспортных систем и раскрывается содержание таких систем. Показаны различия между человеко-машинной системой и эргатической системой по параметрам и областям применения. Даны структурные схемы человеко-машинной системы и эргатической системы. Описаны особенности эргатических транспортных систем с позиций сложных систем и с позиций системного анализа. Основная идея статьи в том, что интеллектуальные транспортные системы и транспортные кибер-физические системы не эффективны в нештатных ситуациях. В этих случаях необходимо использовать эргатические транспортные системы. Интеллектуальные модели и интеллектуальные интерфейсы приводят к созданию интеллектуальных эргатических транспортных систем. Именно эти системы являются дополнением ИТС и ТКФС.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортные системы, эргатические системы. нештатные ситуации, управление.

### Abstract

The article explores the class of ergatic transport systems and reveals the content of such systems. The differences between the human-machine system and the ergatic system are shown in terms of parameters and areas of application. Structural diagrams of the human-machine system and the ergatic system are given. The features of ergatic transport systems are described from the standpoint of complex systems and from the standpoint of system analysis. The main idea of the article is that intelligent transport systems and transport cyber-physical systems are not effective in emergency situations. In these cases it is necessary to use ergatic transport systems. Intelligent models and intelligent interfaces lead to the creation of intelligent ergatic transport systems. It is these systems that complement ITS and TCPS.

**Keywords:** transport, transport systems, ergatic systems. emergency situations, management.



## Введение

Эргатическая система является одной из разновидностей сложных систем. Многие сложные системы функционируют при участии человека, но не все такие системы относят к эргатическим. Существует ряд таких систем: человеко-машинные [1,2], организационные [3], технологические [4], автоматизированные [5], информационные, когнитивные, иммерсивные [6–9] интеллектуальные, сложные организационно-технические [7]. Эргатическая система является новым этапом развития человеко-машинной системы и качественно от нее отличается.

Эргатические системы (*ergatic systems* – ES) более разнообразны по сравнению с человеко-машинными системами (*man-machine systems* – MMS). MMS можно охарактеризовать как регламентированные системы. ES можно охарактеризовать как когнитивные и субсидиарные системы. В отдельных случаях они являются эвристическими системами. Можно выделить эргатические системы управления, эргатические системы навигации, иммерсивные эргатические системы, эргатические системы в образовании, тренажерные эргатические системы [8], эргатические экспертные системы [9] и другие. Разнообразие функций эргатических систем дает основание выделить группу транспортных эргатических систем. Транспортные эргатические системы это, в первую очередь, ES, предназначенные для управления воздушным, морским, автомобильным и железнодорожным транспортом. Среди перечисленных видов подвижные объекты железнодорожного транспорта являются наиболее регламентированными, то есть они ближе к MMS. К транспортным эргатическим системам относятся системы контроля, навигации и профилактики, в которых важную роль играет человек.

Эргатические системы применяют там, где автопилот или беспилотной управление не работает. Можно дать краткий обзор применения ES. Существуют эргатические системы морского транспорта [10]. Они решают, например, задачи анализа навигационной обстановки штурманом при проходе в узких местах и портовых районах. В таких задачах возникает необходимость применения геометрической или пространственной логики, которая недостаточно формализована и реализуется только человеком. Это мотивирует применять формально-логические [10] и когнитивно-логические [11] подходы. Эргатические системы находят применение в областях, где участие оператора является неотъемлемой частью эффективного функционирования сложных или технических систем. В этих областях существует необходимость оперативно решать проблемы и нештатные ситуации, возникающие в процессе работы. Критические прикладные системы [12] являются одной из разновидностей эргатических систем. В воздушном транспорте эргатические системы возникают в нештатных ситуациях при ведении самолета [13] и при работе диспетчеров. Последнее имеет место и для железнодорожного транспорта.

Эргатические системы применяют там, где возникает информационная неопределенность и так называемые «не-факторы» [14], к которым относят неопределенность, сложность, нестабильность, неоднозначность. Таким образом, исследование и применение эргатических систем является актуальным современным направлением.

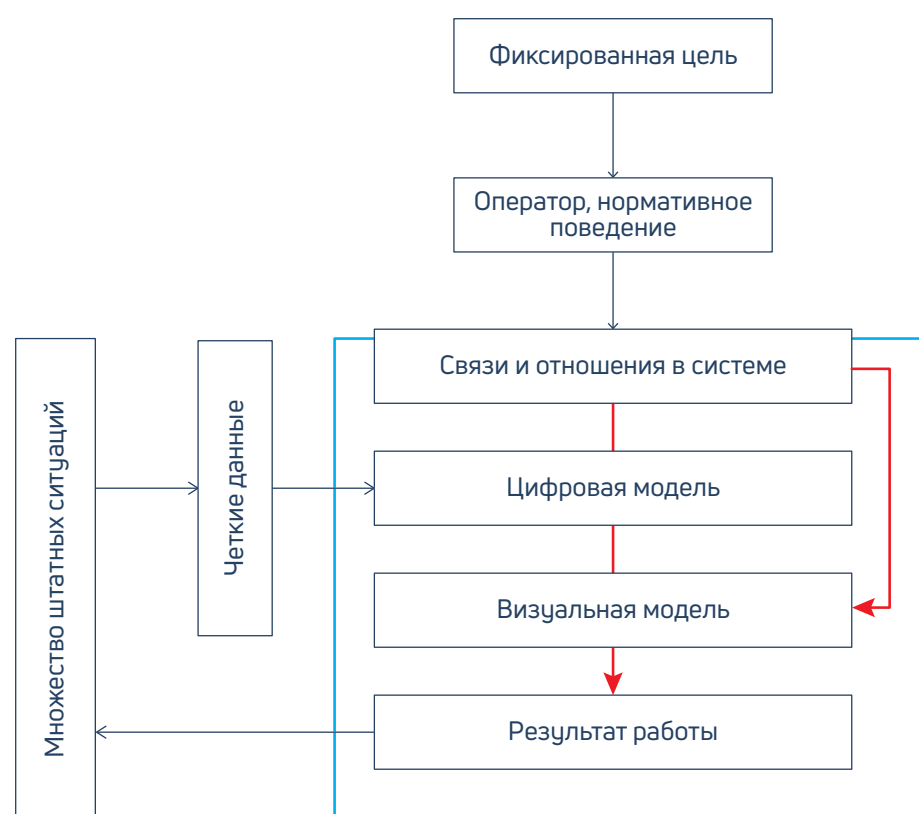


Рисунок 1. Структурная схема MMS

## Сравнительная характеристика MMS

На первых этапах применения MMS была связана с техникой и этим понятием называли комплекс «человек-техника» [1]. Использование компьютеров расширило понятие до трактовки «человек-компьютер» [2] или «человек – информационная система». Поэтому современные MMS применяют цифровые модели и визуальные модели. В отличие от многих сложных систем, в которых применяют воздействие, в MMS воздействие заменяется на взаимодействие. Взаимодействие может быть техническим (машинист паровоза, водитель городского транспорта) или информационным. Взаимодействие является главным отличием MMS от других сложных систем. На рис.1 приведена структурная схема MMS, построенная с учетом сравнения с ES.

MMS включает следующие составные части: человек, который имеет фиксированную цель и множество инструкций, регламентирующих и одновременно ограничивающих его действие; четкие данные, поступающие от внешней ситуации применения MMS; набор механизмов в виде связей и отношений, задающих систему; набор моделей поддержки (в некоторых MMS отсутствует); результат деятельности. В транспортной области MMS имеет разные реализации: водитель – автоматизированный шлагбаум платной дороги; машинист – поезд в штатном режиме; водитель трамвая – трамвай и другие. Общим для всех систем являются: штатные ситуации (*regular situations* – RS), четкая информация (*clear information* – CI) набор регламентов или правил (*rules* – R). С системных позиций MMS может быть описана как кортеж

$$MMS = F \langle (CR, Str, RS, CI, R) \wedge (NF = \emptyset) \rangle \quad (1) \quad \ggg$$

В выражении (1) CR – связи и отношения в системе, Str – фиксированная структура системы, NF – *not factors* – обозначает «не факторы» или нечеткие факторы. К ним относятся: информационная неопределенность, нестабильность ситуации, неоднозначность трактовки информации, нечеткая информация, сложность ситуации, значимые погрешности. Значимыми погрешностями называем такие которые искажают результат работы MMS и делают его неприемлемым (например, неисправность тормозов, большие люфты в рулевом управлении). Выражение (1) интерпретируется следующим образом MMS – это система, которая функционирует при наличии четкой информации, в штатных ситуациях, согласно ограниченному набору правил, в которой отсутствуют «не факторы».

## Сравнительные характеристики MMS и ETS

Эргатическая транспортная система, чаще всего выступает как подсистема в транспортном средстве. Например, рулевое управление и человек образует такую систему.

Эргатические транспортные системы (Ergatic transport systems – ETS) имеют ряд существенных отличий от MMS. На рис.2. приведена структурная схема ETS.

Рассмотрим различия по элементам структуры по схемам на рис.1 и рис.2. В MMS цель четкая и одна, в ETS имеется группа целей и допускается существенное изменение цели (например, экстренное торможение или изменение маршрута перевозки к другому потребителю).

В MMS оператор ограничен инструкциями, в ETS оператор действует по инструкциям в штатных ситуациях, но имеет право субсидиарного поведения в нештатных ситуациях. Отсюда вытекает, что сфера действия ETS шире, чем сфера действия MMS.

В MMS оператор чаще всего использует связи и отношения для прямого управления, в ETS оператор через интерфейс, который связан со связями и отношениями. Интерфейс снижает информационную нагрузку на человека и повышает оперативность работы оператора (например, гидроусилитель рулевого управления)

В MMS используют только четкие данные и исключены нечеткие данные, в ETS используют гетерогенные данные (ГД, рис.2), которые включают четкую информацию и допускают определенных пределах наличие нечеткой информации. Отсюда вытекает, что информационная поддержка действий ETS шире, чем информационная поддержка действия MMS.

В MMS используют только детерминированные модели, в ETS используют когнитивные модели, которые в отдельных случаях требуют подключения человеческого интеллекта для решения проблем. Отсюда вытекает, что область принятия решений в ETS шире, чем область принятия решений в MMS.

В обеих системах используют визуальные модели, но разного содержания. В силу наличия интерфейса в ETS применяют виртуальную реальность, дополненную реальность. Смешанную реальность и иммерсивные технологии. В MMS иммерсивные технологии и смешанную реальность не применяют.



Рисунок 2. Структурная схема ETS

В MMS оператор подстраивается под ситуацию, в ETS оператор может подстраиваться и влиять на ситуацию. Отсюда вытекает, что область действия ETS шире, чем область действия MMS. В силу выявленных различий эргатическая система не тождественна человеко-машинной системе.

Человеко-машинная система работает по инструкциям. Например, центр управления городским транспортом сталкивается в основном со штатными ситуациями. Это человеко-машинная система. С нею работает один человек диспетчер. Как альтернативу можно рассмотреть центр управления полетами космических аппаратов [54]. Это эргатическая система, для которой появление нештатных ситуаций ожидаемо и преодолимо. С этой системой работает коллектив операторов центра управления полетами. Для этой системы характерно корпоративное управление, которое уменьшает ошибки отдельного субъекта. В ETS применяют корпоративное управление как средство уменьшения индивидуальных ошибок и средство повышения надежности управления.

Мотивация применения ETS состоит в снятии ситуационной сложности [23] с помощью когнитивных методов анализа и когнитивного управления.

Эргатическая транспортная система обладает свойством эмерджентности. Эмерджентность ETS имеет множество компонентов: интеллектуальный, когнитивный, ресурсный и другие. Это является принципиальным отличием ETS от остальных систем.

Техническая эмерджентность в ETS такая же, как у других сложных технических. Интеллектуальная эмерджентность обусловлена уровнем интеллекта оператора. Чем выше интеллект оператора ETS, тем выше эффективность ее работы, при прочих равных: технических, структурных и информационных характеристиках. Когнитивная эмерджентность обусловлена накоплением опыта взаимодействия и появлением о опера- ➤➤➤

тора новых возможностей вследствие взаимодействия с системой. Ресурсная эмерджентность обусловлена накоплением моделей взаимодействия и совершенствованием моделей.

С системных позиций ETS может быть описана как кортеж

$$ETS = F2\langle (CR, VStr, RS, CI, R) \vee (NF \neq \emptyset) \rangle \quad (2)$$

В выражении (1) CR – связи и отношения в системе, VStr – вариативная структура системы, NF – *not factors* – обозначает «не факторы» или нечеткие факторы. К ним относятся: информационная неопределенность, нестабильность ситуации, неоднозначность трактовки информации, нечеткая информация, сложность ситуации, значимые погрешности. Логическое отношение «И» в (1) заменено на логическое отношение «ИЛИ» в (2). Это означает, что ETS допускает наличие «не-факторов». Различие состоит также в связях и отношениях. Для MMS (1) количество связей превосходит число отношений и связи играют главную роль. Для ETS (1) количество отношений превосходит число связей и отношения играют главную роль. Связи задают жесткость и детерминированность, отношения задают гибкость и адаптивность.

Следует отметить особую роль ETS и ES в COTC. В этих системах они являются подсистемами.

## Заключение

Граница между MMS и ETS не всегда четко обозначается. Соотносить системы с MMS и ETS возможно на основе реальной ситуации. Существует качественное и системное

различие между MMS и ETS. Приравнивать их как это делается в [14], не представляется корректным.

Необходимость в ETS обусловлена тем, что как показывает опыт, интеллектуальные транспортные системы и транспортные кибер-физические системы, которые хорошо работают с беспилотным транспортом на основе регламентов и правил, становятся не эффективными в сложных, стохастических и нечетких ситуациях. В этом случае решение задач управления подвижными объектами возможно только с помощью ETS. Прогнозы по уменьшению роли человека в эргатических системах не оправдываются [6]. Новые эргатические системы, использующие технологии искусственного интеллекта, требуют от операторов качеств на уровне предела человеческие возможностей. Это ставит задачи разработки специальных интерфейсов, снижающих нагрузку на оператора.

Мало того, для ETS требуется разработка специальных моделей [6, 15], учитывающих их специфику. В целом ETS дополняют интеллектуальные, автоматизированные и кибер-физические системы. эргатические транспортные системы хорошо вписываются в концепцию цифровизации и интеллектуализации. Использование интеллектуальных моделей и интеллектуальных интерфейсов приводит к созданию интеллектуальных эргатических транспортных систем. Именно эти системы являются дополнением ИТС и ТКФС. По видам транспорта ETS могут шире использоваться в воздушном, морском и автомобильном транспорте и меньше в железнодорожном транспорте. Это обусловлено высокой регламентированностью железнодорожных систем. В тоже время как инструмент поддержки, например, при использовании БПЛА, эргатические транспортные системы являются не заменимыми. ■

## Список литературы

1. Омельченко А. С. ГИС как человеко-машинная система и семь принципов академика Глушкова // Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. - №3 - С.127-133.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Человеко-машинные системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №3 (19). – С.3-8.
3. Павлов А.И. Сложные организационные системы // Славянский форум. -2018. – 4 (22). - С.54-59.
4. Буравцев А.В. Сложные технологические системы// Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.14-19.
5. Скаткова Н. А. Гарантоспособные технологии реконфигурации автоматизированных транспортно-производственных систем //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – №. 6. – С.52–57.
6. Sergeev S., Burmistrov I. Immersive media in simulators of complex ergatic systems //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – Т. 337. – №. 1. – С. 012052.
7. Кудж С.А. Развитие сложных организационно-технических систем // Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.107-114.
8. Petukhov I., Steshina L., Glazyrin A. Application of virtual environments in training of ergatic system operators //Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – Т. 16. – №. 3. – С. 398-403.
9. Veshneva I. et al. Model of formation of the feedback channel within ergatic systems for monitoring of quality of processes of formation of personnel competences //International Journal for Quality Research. – 2015. – Т. 9. – №. 3. – С.459.
10. Nosov P. S. et al. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport. – 2020.
11. Savnykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Cognitive logic's principles. В сборнике: Artificial Intelligence in Intelligent Systems. proceedings of Computer Science On-line Conference. Сер. "Lecture Notes in Networks and Systems" Zlín, Czech Republic, 2021. С. 288-296.
12. Zverev G. I., Menshikh V. V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1479. – №. 1. – С. 012062.
13. Pila J., Kozuba J. Safety of complex aircraft ergatic systems //Transport Problems. – 2019. – Т. 14.
14. Prokopenko E. et al. Intelligent control based on ergatic systems in conditions of incomplete and fuzzy information //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2131. – №. 2. – С. 022101.
15. Obukhov A. D., Dedov D. L., Arkhipov A. E. Development of structural model of adaptive training complex in ergatic systems for professional use //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – Т. 327. – №. 2. – С. 022075.
16. Lavrov E. et al. Mathematical models for reducing functional networks to ensure the reliability and cybersecurity of ergatic control systems //2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). – IEEE, 2020. – С.179-184.