

УДК 65.011.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Железнов Э.Г., Комиссаров П.В., Цымай Ю.В.

*ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», Санкт-Петербург,
e-mail: eduardz76@mail.ru, komissarovp@yandex.ru, m-walua@yandex.ru*

Эргатические системы управления относят к классу сложных систем, которые обладают свойствами нелинейности, нестационарности, непрерывности, стохастичности и рядом других. Эти свойства в том числе определяются наличием в составе системы, подсистемы «человек» и подсистем с использованием искусственного интеллекта. В связи с чем увеличиваются риски снижения надежности и эффективности функционирования. Возникает задача поиска и разработки наиболее адекватных методов анализа, описания и идентификации подобных систем. В качестве основного метода исследования сложных систем предложен системный анализ, который сочетает в себе весь спектр методов формализованного представления систем. В статье рассмотрена обобщенная методика системного анализа в приложении к исследованию эргатической системы управления. Отражены основные этапы системного анализа, раскрыты основные принципы и способы автоматизации систем управления. Представлены обобщенные структурные и функциональные модели эргатических систем управления. Предложены модели алгоритмов идентификации систем управления на этапах разработки и эксплуатации. Проведен обзор основных факторов, влияющих на эффективность эргатических систем управления, приведены возможные критерии оценки эффективности. Изложены возможные направления и варианты развития метода системного анализа сложных автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: сложная система, эргатическая система, эффективность, системный анализ, идентификация

RESEARCH OF ERGATIC CONTROL SYSTEMS

Zheleznov E.G., Komissarov P.V., Tsymai Yu.V.

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg,
e-mail: eduardz76@mail.ru, komissarovp@yandex.ru, m-walua@yandex.ru*

Ergatic control systems belong to the class of complex systems that have the properties of non-linearity, non-stationarity, continuity, stochasticity, and a number of others. These properties, among other things, are determined by the presence of the system, the «human» subsystem and subsystems using artificial intelligence. In this connection, the risks of reducing the reliability and efficiency of functioning increase. The problem arises of finding and developing the most appropriate methods of analysis, description and identification of such systems. As the main method of studying complex systems, system analysis is proposed, which combines the entire range of methods of formalized representation of systems. The article considers a generalized method of system analysis in the application to the study of the ergatic control system. The main stages of the system analysis are reflected, the basic principles and methods of automation of control systems are revealed. Generalized structural and functional models of ergatic control systems are presented. Models of algorithms for identifying control systems at the stages of development and operation are proposed. The review of the main factors influencing the effectiveness of ergatic control systems is carried out, and possible criteria for evaluating the effectiveness are given. Possible directions and options for the development of the method of system analysis of complex automated control systems are described.

Keywords: complex system, ergatic system, efficiency, system analysis, identification

Решением проблем функционирования системы «человек-среда-механизм», «человек-среда-машина» стали заниматься, сначала на интуитивном уровне, с тех пор как были созданы первые элементарные орудия труда. Чем сложнее становились способы механизации (и/или автоматизации) разнообразных функций, тем актуальнее становились задачи обеспечения эффективности и безопасности систем «человек-машина». С началом индустриального этапа развития человечества и последующей за ним научно-технической революцией появляется необходимость системных исследований фундаментальных основ взаимодействия и взаимосвязей человека и машины как субъектов трудовой

деятельности. В результате к середине XX в. на стыке различных научных направлений (психологии, математики, медицины и т.д.) [1] возникает раздел науки о системах «человек-среда-машина», «человек и автомат», «много людей-среда-много машин» и т.п., названный инженерной психологией (в СССР) или «человеческие факторы» (human factors в США). Основным содержанием научных исследований становится комплексное изучение трудовой деятельности человека в системах «человек-техника-среда» (СЧТС) с целью обеспечения её эффективности, безопасности и комфорта [2, с. 6]. Терминология СЧТС закреплена в [3]. Начало XXI в. характеризуется бурным развитием информаци-

онных технологий в различных сферах [4; 5], в связи с чем меняется характер систем «человек-среда-машина», предлагаются новые методы управления в сложных эргатических (человеко-машинных) системах [6]. Внедрение элементов искусственного интеллекта (ИИ) [7] стирает жесткие границы функциональных характеристик подсистем «человек-оператор», «среда», «машина». Возникает необходимость описания и анализа эргатических (человеко-машинных) систем управления (ЭСУ) на современном этапе развития.

Целью данного исследования является поиск эффективного метода (методов) исследования эргатических систем управления применительно к сложным системам.

Материалы и методы исследования

В качестве основного метода исследования сложных организационно-технических систем (ОТС) предлагается использовать системный анализ, базирующийся на общей теории систем [8], который позволяет наиболее адекватно раскрыть совокупность свойств во взаимосвязи с внешними и внутренними процессами.

Системный анализ состоит из следующих основных этапов:

- анализ целей;
- функциональный анализ;
- структурный анализ;
- идентификация систем.

При необходимости следует выделить подэтапы и задачи. Последовательность выполнения этапов может варьироваться. В случае с гибкими или адаптивными системами управления исследование может иметь итеративный характер.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным назначением ОТС является управление. Управление – это «функция организационных систем различной природы (биологических, социальных, физических), обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержание режима деятельности, реализацию их программ и целей» [9, с. 1379]. Технические системы реализуют функцию управления подсистемой регулирования, социально-технические и социальные – системой организационного управления, включающей в себя подсистемы «человек-оператор» и экспертные системы с использованием искусственного интеллекта (рис. 1).

Используя представления теории множеств, процесс управления можно формализовать в следующем виде:

$$M = \{P, R, C\},$$

где M (*management*) – процесс управления, P (*programming*) – функция программирования (целеполагания), R (*regulation*) – функция регулирования, C (*control*) – функция контроля.

Возможная модель реализации функций управления представлена на рис. 2.

Исходя из предложенной модели функций управления, можно выделить следующие задачи:

- задача управления целями (адаптация);
- задача управления параметрами (корректировка);
- задача управления сигналами (идентификация, интерпретация);
- задача оценки эффективности процесса управления.

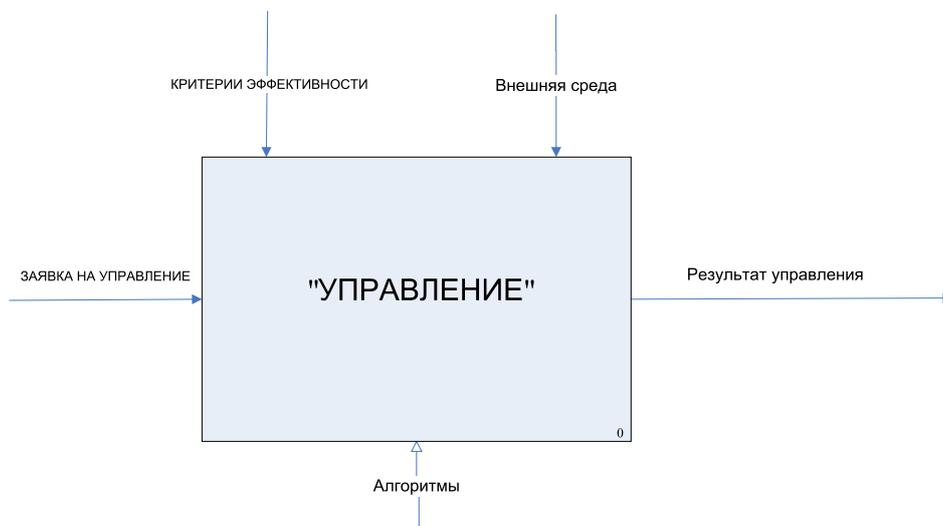


Рис. 1. Обобщенная модель управления

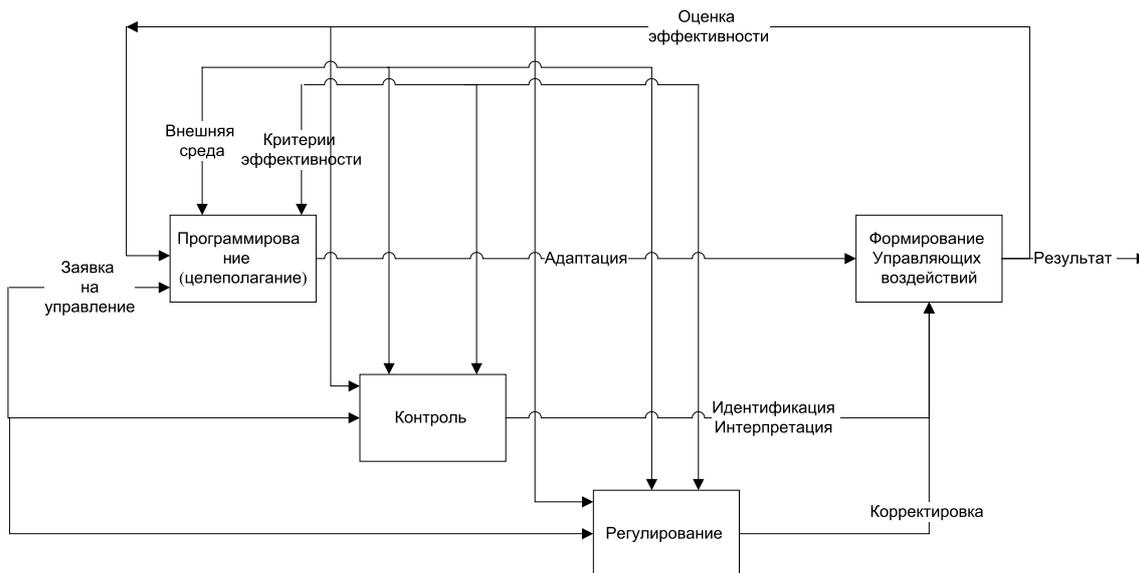


Рис. 2. Модель реализации функций управления

В современных эргатических системах часть функций частично или полностью автоматизирована. Степень автоматизации зависит от вида управляемой системы и её назначения. Существует несколько актуальных принципов автоматизации систем управления:

- принцип преимущественных возможностей [10], задачи управления решает та подсистема, эффективность которой выше;

- принцип взаимодополняемости человека и техники (технологии) [11], эффективность выполнения задач управления повышается путем комбинирования (синергии) подсистем «человек» и «автоматика» друг другом;

- принцип активного оператора [12], эффективность процесса управления определяется эффективностью подсистемы «человек-оператор»;

- принцип взаимного резервирования оператора и автоматических систем управления [13], эффективность управления поддерживается возможностью реализации различных режимов управления: автоматический, полуавтоматический, ручной.

Реализацию основных принципов автоматизации можно осуществить следующими методами распределения функций между человеком и техникой (технологиями):

- статический (строго распределенный)

$$S_{ACV} = \text{const}$$

- динамический (адаптивный)

$$S_{ACV} = f(T_1, T_2, \dots, T_n).$$

Выбор метода распределения функций управления зависит от степени автоматизации (интеллектуализации) и этапа жизненного цикла эргатической системы управления. Чем больше участие подсистемы «человек-оператор» в процессе управления, тем более гибким может быть метод распределения функций управления.

Структура эргатической системы управления (ЭСУ) формируется исходя из целей управления и оптимальности, с точки зрения выбранного критерия (критериев) эффективности.

$$S_{ACV} = f\{(T_1, T_2, \dots, T_n), (K_1, K_2, \dots, K_n)\},$$

где T_1, T_2, \dots, T_n – множество целей, K_1, K_2, \dots, K_n – множество критериев эффективности.

Стандартная структура эргатической системы управления показана на рис. 3.

Управление осуществляется комбинированием фундаментальных принципов управления: принципа программного управления, принципа компенсации и принципа обратной связи [8]. Структурный анализ ЭСУ выражается в формализации всех видов структур функциональных подсистем при помощи языков математического и/или имитационного моделирования. Элементы и связи ЭСУ должны соответствовать основным функциям процесса управления с необходимым уровнем эффективности. Эргатические системы управления априори являются адаптивными, поэтому структура системы должна обладать определенной гибкостью. Результатом структурного анализа может быть создание одной или не-

скольких моделей эргатической системы. Современные информационные системы позволяют автоматизировать этот процесс.

Идентификация системы выражается в определении количественных и качественных характеристик основных показателей эффективности, которые, в свою очередь, формируются на основании критерия (критериев) эффективности (рис. 4).

В качестве основных методов идентификации сложных систем управления авторы предлагают использовать методы исследования операций.

Среди основных критериев эффективности ЭСУ можно выделить:

- оперативность управления;
- обоснованность принимаемых решений;

– стоимость (количество ресурсов, необходимых для реализации процесса управления).

Следует подчеркнуть, что приведенные критерии комплексные, поэтому для упрощения анализа можно провести декомпозицию каждого критерия на составляющие, наиболее адекватные конкретной системе управления. Формализацию процесса управления можно реализовать при помощи первичных, частных или комплексных сетевых моделей. Они позволяют рассчитать эффективность ЭСУ по критериям оперативности и стоимости управления.

Основные группы факторов, влияющих на эффективность ЭСУ, показаны на рис. 5.

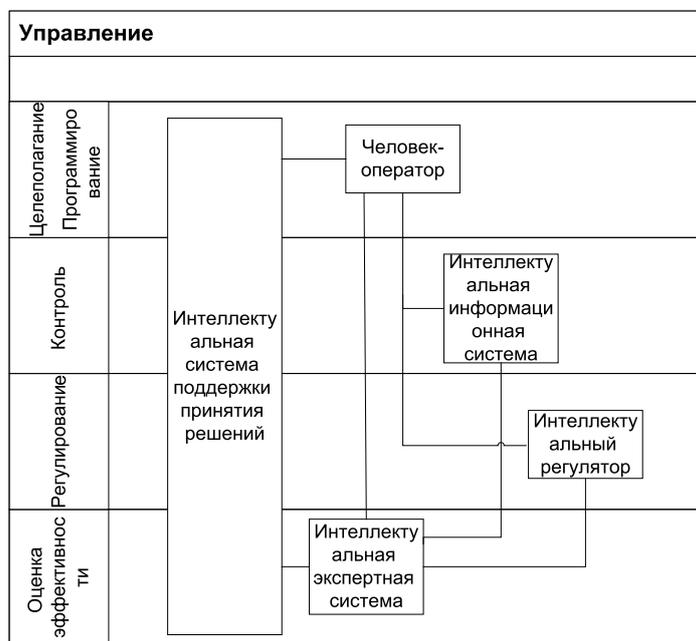


Рис. 3. Возможная модель структуры эргатической системы управления

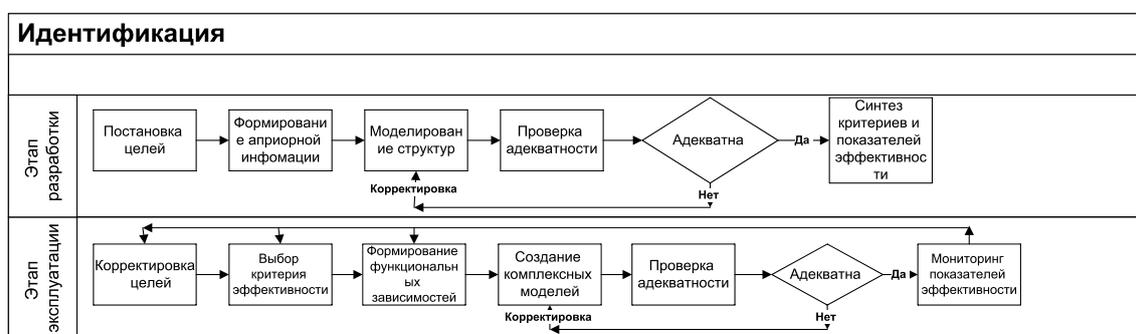


Рис. 4. Возможные модели алгоритмов идентификации систем управления на этапах разработки и эксплуатации



Рис. 5. Обобщенная схема факторов, влияющих на эффективность ЭСУ

Семантическое и структурное содержание факторов можно установить на этапе создания математической модели эффективности исследуемой системы управления. Поскольку эргатические системы являются адаптивными, часть показателей должна идентифицироваться непрерывно. Возможным вариантом решения этой задачи может быть повышение интеллектуализации контура управления.

Заключение

Сложные системы, к которым относятся и эргатические системы управления, обладают уникальными свойствами, позволяющими им решать нестандартные задачи в условиях высокой неопределенности. В связи с этим такие системы требуют создания адекватных методик оценки эффективности их функционирования. Решить подобную задачу можно, по мнению авторов, с помощью реализации концепции адаптивизации [14], которая основывается на фундаментальных принципах системного анализа и прогностики: системности, согласованности, непрерывности, вариантности, верифицируемости, рентабельности. Суть концепции, применительно к задачам исследования сложных систем, заключается в использовании всей имеющейся информации (априорной, текущей, прогнозной) для идентификации системы и выработке оптимальных управляющих воздействий. Развитием методики системного анализа, в рамках концепции адаптивизации, может стать эволюционное моделирование [15].

Список литературы

1. Федосеева А.В. Основные методы эргономического анализа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 5-4. С. 139–141.
2. Эргономика: учебник/ Под ред. Крылова А.А., Суходольского Г.В. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. 184 с.
3. ГОСТ 26387-84 Система «человек-машина». Термины и определения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200009516> (дата обращения: 15.03.2021).
4. Дунаева Т.Ю., Гараев А.А. Информационные технологии в развитии современного информационного общества // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 3. С. 163–165.
5. Александров А.В. Информационные технологии в управлении // ПниО. 2015. № 4 (16). С. 76–82.
6. Сергеев С.Ф. Эргономика сложных систем: типы научной рациональности и энактивизм // Эргодизайн. 2019. № 4 (6). С. 156–161.
7. Пороховский А.А. Цифровизация и искусственный интеллект: перспективы и вызовы // Экономика. Налоги. Право. 2020. № 2. С. 84–91.
8. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем: учебное пособие. М.: Высшая школа, 2006. 511 с.
9. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Сов. Энциклопедия, 1983. 1600 с.
10. J.C.F. de Winter, D. Dodou. Why the Fitts list has persisted throughout the history of function allocation. *Cognition, Technology & Work*. 2014. V. 16. № 1. P. 1–11.
11. Костин А.Н. Гибкое изменение степени автоматизации как средство распределения функций между человеком и автоматикой // Институт психологии Российской Академии Наук. Организационная психология и психология труда. 2018. Т. 3. № 3. С. 218–232.
12. Ломов Б. Психическая регуляция деятельности. Избранные труды. Litres, 2019. 1048 с.
13. Костин А.Н. Инженерно-психологическая стратегия автоматизации управления роботомобилем // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. 2018. С. 74–87.
14. Железнов Э.Г., Ефименко С.В., Соклакова С.Ю. Особенности применения моделей на основе теории нечетких множеств при исследовании сложных эргатических систем // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 7. С. 35–39.
15. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. 432 с.