

# КОНЦЕПЦИЯ КОГНИТИВНОЙ АДАПТАЦИИ ЭРГАСИСТЕМЫ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Сухов А.В.<sup>1</sup>, Скиба В.А.<sup>2</sup>, Иванов И.В.<sup>3</sup>

**Ключевые слова:** концептуальная модель, когнитивная эргасистема, когнитивная среда, информационный критерий оптимизации, человек-оператор, программно-математическое обеспечение, параметрический контроль, регулятор, энтропия покрытия, информационная энтропия.

## Аннотация

**Цель работы:** обоснованию концепции когнитивной адаптации эргасистемы к функции восприятия человеком визуальной информации для оптимизации управленческих решений по физической защите объектов инфраструктуры от высокотехнологичных деструктивных воздействий. В целях проверки адекватности выдвинутых теоретических положений разработана концептуальная модель когнитивной эргасистемы, которая описывает теоретико-информационные принципы адаптивности среды информационного обмена к когнитивным способностям человека-оператора.

**Метод:** для представления этой задачи в упрощенном виде использован теоретико-множественный метод формализации технологического процесса переработки информации в целевом информационном пространстве отношений между элементами эргасистемы.

**Результаты:** в процессе принятия управленческих решений по физической защите объектов инфраструктуры программно-математическое обеспечение надсистемы параметрического контроля для существующей автоматизированной системы охраны является регулятором. При этом оптимизация управленческих решений достигается уменьшением энтропии покрытия эргасистемы. В свою очередь, за счет снижения информационной энтропии на этапе верификации повышается ситуационная осведомленность лица, принимающего решения.

DOI: 10.24412/1994-1404-2024-4-32-41

## Введение и постановка задачи

Необходимость достижения военно-технического превосходства перед активными действиями по разрушению инфраструктуры приводит к поиску путей решения задачи синтеза элементов высокотехнологичной эргасистемы, которые бы обеспечивали своевременный информационный обмен в контуре управления между внешней средой и человеком-оператором. Низкий уровень информационной осведомленности о текущей обстановке на объектах инфраструктуры не в полной мере соответствует требованиям к оптимальности принятия управленческих

решений по их физической защите<sup>4,5</sup>, что обусловлено наличием противоречий между существующими методами переработки информации в эргасистеме и тех-

<sup>4</sup> Указ Президента Российской Федерации от 02 июля 2021 года № 400 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046> (дата обращения: 11.11.2024).

<sup>5</sup> Федеральный закон от 21 июля 2011 года № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/12188188/> (дата обращения: 11.11.2024).

<sup>1</sup> **Сухов Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» Московского авиационного института, г. Москва, Россия.

E-mail: [avs57@mail.ru](mailto:avs57@mail.ru)

<sup>2</sup> **Скиба Валерий Александрович**, доктор технических наук, доцент, начальник кафедры Военной академии РВСН имени Петра Великого, г. Москва, Россия.

E-mail: [cdf777@yandex.ru](mailto:cdf777@yandex.ru)

<sup>3</sup> **Иванов Игорь Викторович**, кандидат педагогических наук, докторант Военной академии РВСН имени Петра Великого, г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0002-9438-2809.

E-mail: [axelessly@mail.ru](mailto:axelessly@mail.ru)



Рис. 1. Общая модель абстрактного интеллекта

нической невозможностью обеспечить адаптивность к когнитивным способностям человека-оператора в реальном масштабе времени, который подвергается повышенным нагрузкам, вызванными увеличением интенсивности и объема обрабатываемого информационного потока [10, 13].

Критичность деструктивного воздействия на охраняемые объекты определяется уровнем технологичности применяемых сил и средств<sup>6</sup>. Высокотехнологичное деструктивное воздействие (ВТДВ) характеризуется многообразием форм и высокой степенью неопределенности стратегий единовременного применения комплексов и систем военного назначения, основанных на применении технологии искусственного интеллекта.

Концептуальность модели определяется предположениями относительно альтернатив поведения сторон, ограничениями ресурсов, условиями проведения операции, упрощениями, которые задаются характером последствий воздействия преднамеренных факторов, а также выявленными закономерностями. Разработанная концептуальная модель основана на инвариантном принципе структурирования эргасистемы<sup>7</sup> [4, 7] и содержит формализованные сведения о накопленных фактах из информационно-аналитических материалов по опыту проведения специальной военной операции, характеризующих ВТДВ как явление. Эффективность разработанной концепции когнитивной адаптации эргасистемы может быть оценена на основе информационного критерия оптимальности.

### Решение задачи

Формализация когнитивной способности человека представляет собой решение задачи в парадигме аб-

страктного интеллекта, понятие которого включает четыре формы: естественный, искусственный, машинный и вычислительный интеллект<sup>8</sup>. Общая модель абстрактного интеллекта описывает логику трансформации и циркуляции массивов различных категорий (данные, информация, знания, поведение) в пространстве отношений между его физическими элементами (рис. 1).

В соответствии с общими научно-методологическими положениями теории информации по статистическому описанию ресурсного обмена<sup>9</sup> [9] циркулирующие в пространстве отношений абстрактного интеллекта массивы могут рассматриваться как информационные. Когнитивную способность человека в пространстве отношений элементов системы естественного интеллекта характеризуют информационные потоки между теми подсистемами, функционирование которых определяет автономность в принятии оптимальных решений.

Моделированию процессов восприятия и визуализации информации посвящены исследования известных ученых В.М. Озерного, В.В. Подиновского, Т. Саати, Г. Саймона, А. Ньюэлла, Д. Хоффмана, Р. Фишера, Л. Заде и других. Однако существующие модели в полной мере не отражают разнообразие соотношений информационных мер, которое формирует информационный массив, определяющий оптимальность в принятии решений, и при решении специальных задач оказываются не в полной мере достаточными для выявления закономерностей между требуемыми выходными характеристиками эргасистемы и заданным входным воздействием. Кроме того, существующие методики обработки и анализа измерительных данных не ориентированы на

<sup>8</sup> Wang Y. On abstract intelligence: Toward a unifying theory of natural, artificial, machinable, and computational intelligence // International Journal of Software Science and Computational Intelligence. 2009. Т. 1, № 1. С. 1–17.

<sup>9</sup> Антомонов Ю.Г. Синтез оптимальных систем. М.: Букинист, 1972. 320 с.; Разоренов Г.Н. Метод синтеза законов "мягкого" и "сверхмягкого" управления конечным состоянием динамических систем // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2013. № 1. С. 3–17.; Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.

<sup>6</sup> Защита уязвимых целей от террористических нападений: Руководство по передовой практике. Вводный модуль. Контртеррористическое управление Организации Объединенных Наций: Организация Объединенных Наций, 2022. 50 с.

<sup>7</sup> Глазов Б.И. Рационализация информационных мер процессов в воздушно-космической киберинформатике // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4(34). С. 96–102.

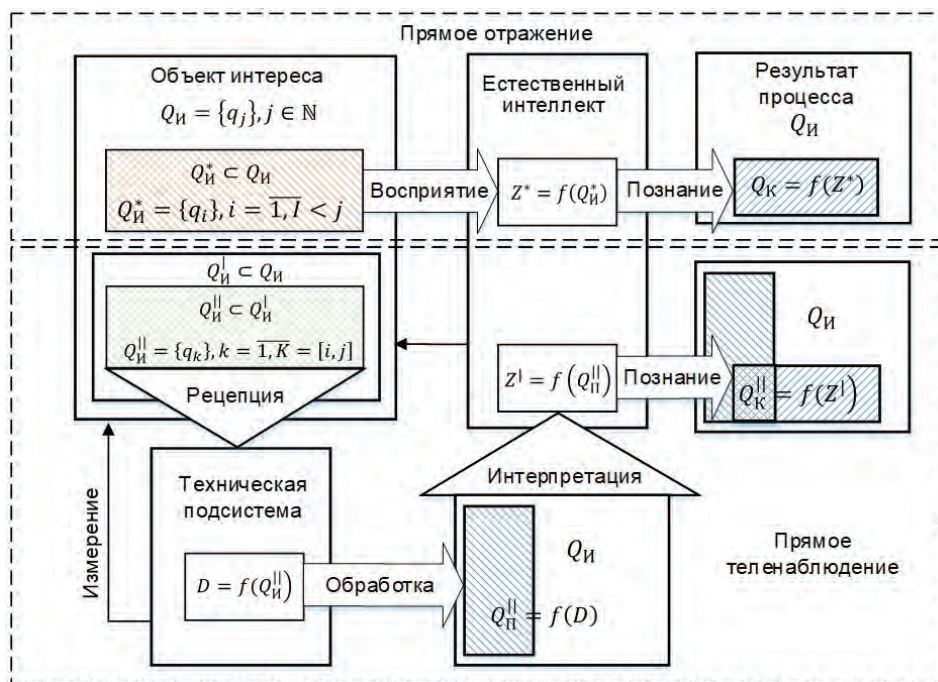


Рис. 2. Структурная модель когнитивного процесса по схемам прямого отражения и прямого теленаблюдения

использование априорной информации об изменении параметров и состояний объекта управления.

Медико-биологические и эргономические исследования физиологических и функциональных свойств человека как оператора машины накопили достаточный массив статистических сведений о проблеме ограниченности восприятия информации (Д. Хоффман, Б. Беннет, М. Сингх, Ч. Пракаш). Результаты этих исследований едины в том, что независимо от когнитивных способностей человека-оператора, в технологическом процессе переработки информации (ТППИ) по схеме прямого теленаблюдения происходит неизбежное сужение потока пертинентной информации<sup>10</sup>.

Опираясь на грамматику общепринятой научной терминологии, связанной с систематизацией когнитивных структур<sup>11</sup> [2, 11, 12] и новые разработки в области когнитивной робототехники [9] с учетом специфики решаемой военно-технической задачи в контексте настоящего исследования понятие «когнитивная эргасистема» определяется как многоуровневая система, основанная на модели переработки информации в процессе человеческого познания. При этом содержание понятия «адаптивность эргасистемы» состоит в том, что модели и методы применяются на уровне объекта управления, а на надсистемном уровне применяются

меры по повышению физической защищенности объектов инфраструктуры.

Информационная осведомленность (информированность) человека-оператора зависит от информативности технической системы [1, 8], то есть от тех ее свойств, которые дополняют когнитивные функции естественного интеллекта в процессе принятия решений. Следовательно, необходимо конкретизировать понятие «когнитивная среда», которое определяется как пространство информационного обмена между человеком-оператором и внешней средой через техническую систему, которая дополняет когнитивные функции естественного интеллекта в процессе принятия решений по защите объектов инфраструктуры от ВТДВ.

В пространстве отношений между человеком и средой без участия технической подсистемы когнитивный процесс структурно представляет собой прямое отражение свойств объекта интереса. При этом полнота коммуникационной информации определяется только когнитивными способностями человека, а неопределенность – параметрами внешней среды и поведением объекта интереса (рис. 2).

На рис. 2 обозначены:  $Z$  – знания,  $Q$  – количество информации (массив) на этапах измерения, извлечения, восприятия (индекс «И»), преобразования и интерпретации (индекс «П»), коммуникации (индекс «К»),  $q$  – параметры (свойства) объекта интереса,  $D$  – данные. Из рисунка видно, что количество коммуникационной информации ( $Q_K^{II}$ ) есть пересечение множеств ( $Q_K$ ) и ( $Q_{II}^{II}$ ):

$$Q_K^{II} = Q_K \cap Q_{II}^{II} \tag{1}$$

Учитывая выражение (1), увеличение нового множества пересечения приближает к множеству (зачет разности:

<sup>10</sup> Bennett B.M., Hoffman D.D. Shape decomposition for visual recognition: the role of transversality // Image understanding 1985-86. 1987. С. 215–256. Hoffman D.D., Singh M., Prakash C. The interface theory of perception // Psychonomic Bulletin and Review. 2015. Т. 22. С. 1480–1506.

<sup>11</sup> Демьянков В.З. Когнитивная система. Краткий словарь когнитивных терминов / Под общей редакцией Е.С. Кубряковой. М.: Филологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 1996. С. 74–76.

$$Q_{II} \setminus Q_K^{\parallel} = \Delta Q_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где величина определяется требуемой точностью в пределах допустимых значений.

Количественную меру изменчивости состояний и параметров внешней среды можно представить с использованием энтропийного подхода в оптимальном управлении [14]. По схеме прямого отражения количество воспринимаемой информации ( $Q_{II}^*$ ) определяется априорной энтропией от элементов ( $q_j$ ). При участии технической подсистемы происходит преобразование информации в результате опыта измерения параметров ( $q_j$ ). В этом случае коммуникационная информация ( $Q_K$ ) формируется на основе данных ( $D$ ), которые циркулируют в контуре переработки информации по схеме прямого теленаблюдения, образуя апостериорную энтропию. В результате в когнитивном процессе обобщенная энтропийная составляющая информационного баланса на входе эргасистемы уменьшается:

$$I = L(H, t), t \in [t_H, t_K], \quad (3)$$

$$L(H, t_H, t_K) = H_{\text{apr}} - H_{\text{aps}}, \quad (4)$$

где  $L$  – информационная составляющая изменения энтропии  $H$  в ходе измерения;  $t_H, t_K$  – время начала и окончания измерений;  $H_{\text{apr}}$  – априорная энтропия;  $H_{\text{aps}}$  – апостериорная энтропия.

Тогда, учитывая выражения (1)–(4), через энтропию покрытия в когнитивной среде можно оценить оптимальность принимаемых решений:

$$H_{II} = \log \left( \frac{\| (Q_{II} \setminus Q_K) \cup \Delta Q_{\text{доп}} \|}{\| \Delta Q_{\text{доп}} \|} \right), \quad (5)$$

где двойные прямые скобки « $\| \cdot \|$ » означают операцию взятия нормы.

В таком случае информационный критерий оптимизации представляет собой экстремум функции, связывающей изменение соотношений измерительной информации ( $Q_{II}^*$ ) и ( $Q_{II}^{\parallel}$ ) на входе с изменением соотношения коммуникационной информации ( $\Delta Q_K^{\parallel}$ ) на выходе эргасистемы. Если вариант решения характеризуется кортежем параметров:

$$P(q) = \langle p_1(q), \dots, p_i(q), \dots, p_j(q), \dots, p_k(q) \rangle, \quad (6)$$

то  $P^*(q^*)$  является информационным критерием решения оптимизационной задачи при его равенстве:

$$P^*(q^*) = \arg \max_{q \in Q_{II}} J_0(H, P(q)), \quad (7)$$

где  $J_0(P(q))$  – целевой функционал от кортежа заданных параметров ( $q$ ) с ограничением

$$J_n(P(q^*)) \in J_n^0, n = \overline{1, N}, q^* \in Q_{II} \supset \Delta Q_{\text{доп}}. \quad (8)$$

Однако на выходе эргасистемы в пространстве принятия решений обобщенная энтропия увеличивается из-за роста интенсивности и объема входного информационного потока. Это значит, что количественная мера информации на выходе определяется величиной энтропии, измененной в результате опыта измерения технически видимых параметров объекта интереса.

Следовательно, необходимо такое программно-математическое обеспечение технической подсистемы, которое позволит оптимизировать обобщенную энтропию в условиях ресурсных ограничений.

ТППИ протекает в пространственно-временном взаимодействии человека-оператора с внешней средой через интерфейсы (внешний технический, внутренний машинный, человеко-машинный) программно-аппаратного комплекса (ПАК) и последовательно включает рецепцию (извлечение и преобразование), интерпретацию и коммуникацию информации. Количественной мерой осведомляющей информации является объем данных в информационном массиве, формирующий требуемый уровень ситуационной осведомленности человека-оператора в пространстве принятия решений (визуализация, коммуникация). При этом на каждом этапе ТППИ происходит сужение потока информации за счет технических ограничений искусственной физической среды (ИФС), программно-аппаратных и когнитивных ограничений. Сужение потока пертинентного информационного массива непосредственно вытекает из самой парадигмы человеко-машинного взаимодействия<sup>12</sup> и в решении задач охраны объектов инфраструктуры представляет собой неизбежное явление в существующей системе прямого теленаблюдения (рис. 3).

При появлении (приближении) ВТДВ во внешней среде происходит возмущение, которое вызывает изменение различных физических параметров окружающего пространства. При этом количество изменившихся параметров соответствует некоторому конечному множеству измерительной информации ( $Q'_{II}$ ). Изменение параметров внешней среды вызывает изменение параметров ИФС, измерительные элементы которой чувствительны только к предварительно заданным сигнатурам сигналов. Строгая детерминированность диапазонов технически видимых параметров задает множество, характеризующееся количеством информации ( $Q'_{II}$ ). Исполнительные элементы измерительной подсистемы образуют множество ( $Q''_{II}$ ), определяющее количество измеряемых параметров.

Для первичного этапа переработки информации (внешний технический интерфейс) ВТДВ можно представить вектором состояния ( $Q_{II}$ ), компонентами ( $q_j$ ) которого могут являться координаты, идентификационные признаки, электромагнитные характеристики и другие параметры. Тогда динамика ВТДВ может быть описана дифференциальным уравнением:

$$\frac{dQ_{II}}{dt} = f(Q_{II}(t), t) + m(t), \quad (7)$$

где  $f(\cdot)$  – векторная функция;

$m(t)$  – функция шума от внешних непреднамеренных возмущающих факторов.

<sup>12</sup> Bennett B.M., Hoffman D.D. Shape decomposition for visual recognition: the role of transversality // Image understanding 1985-86. 1987. С. 215–256. Hoffman D.D., Singh M., Prakash C. The interface theory of perception // Psychonomic Bulletin and Review. 2015. Т. 22. С. 1480–1506.

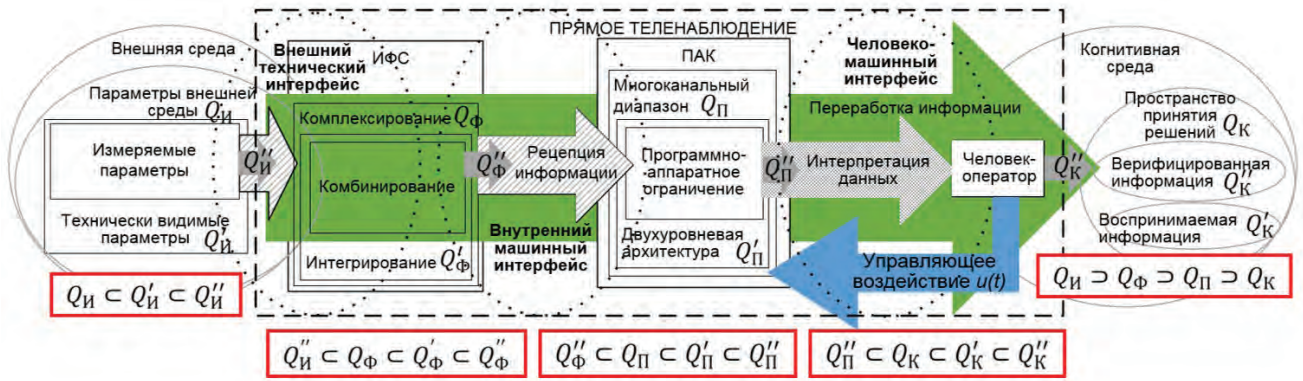


Рис. 3. Структурная модель ТППИ по схеме прямого теленаблюдения

На вторичном этапе ТППИ измерительная информация комплексируется в зависимости от конфигурации трактов передачи сигналов, образуя множество, характеризующееся количеством сформированной информации ( $Q_{\Phi}$ ). Коммутация функционально обособленных технических средств охраны в интегрированной подсистеме создает массив с количеством информации ( $Q_{\Phi}$ ). Комбинирование сигналов от измерителей различных принципов действия формируют количество информации для последующей обработки – множество ( $Q''_{\Phi}$ ). То есть на границе внутреннего машинного интерфейса происходит ограничение информационного потока на этапе рецепции (извлечения и формирования) для обработки в ПАК.

Многоканальный доступ к вычислительным ресурсам ПАК обеспечивает параллельную обработку сформированных данных с количеством преобразованной информации ( $Q_{\Pi}$ ). Обработка сформированных данных в логике построения двухуровневой архитектуры человеко-машинной системы «клиент-сервер» образует множество ( $Q''_{\Pi}$ ). Программно-аппаратные ограничения сужают информационный массив до  $Q_{\Pi}$  – количество информации, преобразованной для интерпретации.

Человек-оператор принимает решения на основе воспринимаемой информации ( $Q_K$ ), количество которой ограничивается когнитивными особенностями человека (человеко-машинный интерфейс). Энтропия в информационном балансе между коммуникационной информации ( $Q_K$ ) и pertinentной информацией в пространстве принятия решений ( $Q'_K$ ) определяет количество верифицированной информации ( $Q''_K$ ).

Для перехода к формализации управляющего воздействия необходимо связность каналов информационного обмена в эргосистеме разложить на агрегативные уровни, представление которых требует универсализации надсистемных связей. Универсальная структура может быть представлена агрегативной моделью на примере существующей автоматизированной системы охраны.

Человек воспринимает визуальную информацию в узком диапазоне видимого электромагнитного спектра

длины волн от 400 до 750 нм. Следовательно, на этапе внешнего технического интерфейса необходимо полно и эффективно использовать доступный информационный ресурс. Комбинирование на этапе первичной обработки данных дает набор статистических сведений, корреляция между которыми указывает на признаки объекта интереса [7]. Целесообразность сосредоточения измеряемых параметров может быть проверена методами регрессионного анализа статистических данных на основе агрегирования универсальных свойств системы охраны (рис. 4.)

На рис. 4 обозначены:  $S$  – автоматизированная система охраны, комплекс инженерно-технических средств охраны (КИТСО) и среды (ИФЗ, естественная среда)  $u$ -уровня, которые включают  $S$  – подсистемы, силы и средства: инженерные средства охраны (ИСО), технические средства охраны (ТСО), средства тревожно-вызывной сигнализации (ТВС), средства охранной сигнализации (ОС), средства обнаружения запрещенных к провозу (проносу) материалов (веществ) (ОЗМ), средства охранного телевидения (ОТ), средства контроля и управления доступом (КУД), средства сбора и обработки информации (СОИ), средства контроля ( $C_K$ ), средства управления ( $C_y$ ), средства предупреждения и воздействия ( $C_{пв}$ ), силы охраны ( $C_{охр}$ ) уровня  $u-1$ .

Связность каналов характеризуется наличием аппаратных связей при комбинировании измерителей разных принципов действия на агрегативном уровне  $K_i (i = 1, 2, \dots, p \in \mathbb{N})$  и программным интегрированием подсистем на агрегативном уровне  $I_i (i = 1, 2, \dots, z \in \mathbb{N})$  при выводе и интерпретации информации о текущей обстановке. Корреляция между собой параметров от одного источника в двух информационных средах используется в решении задачи повышения вероятности обнаружения средств охранной сигнализации  $\Pi_i$  при снижении вероятности ложных срабатываний с помощью комбинированных ТСО  $K_j$ . Связи между отдельными средствами  $C_i$  образуют интегрированные системы  $I_j$ .

Агрегативная модель абстрактно представляет собой граф, который можно описать многомерной ма-

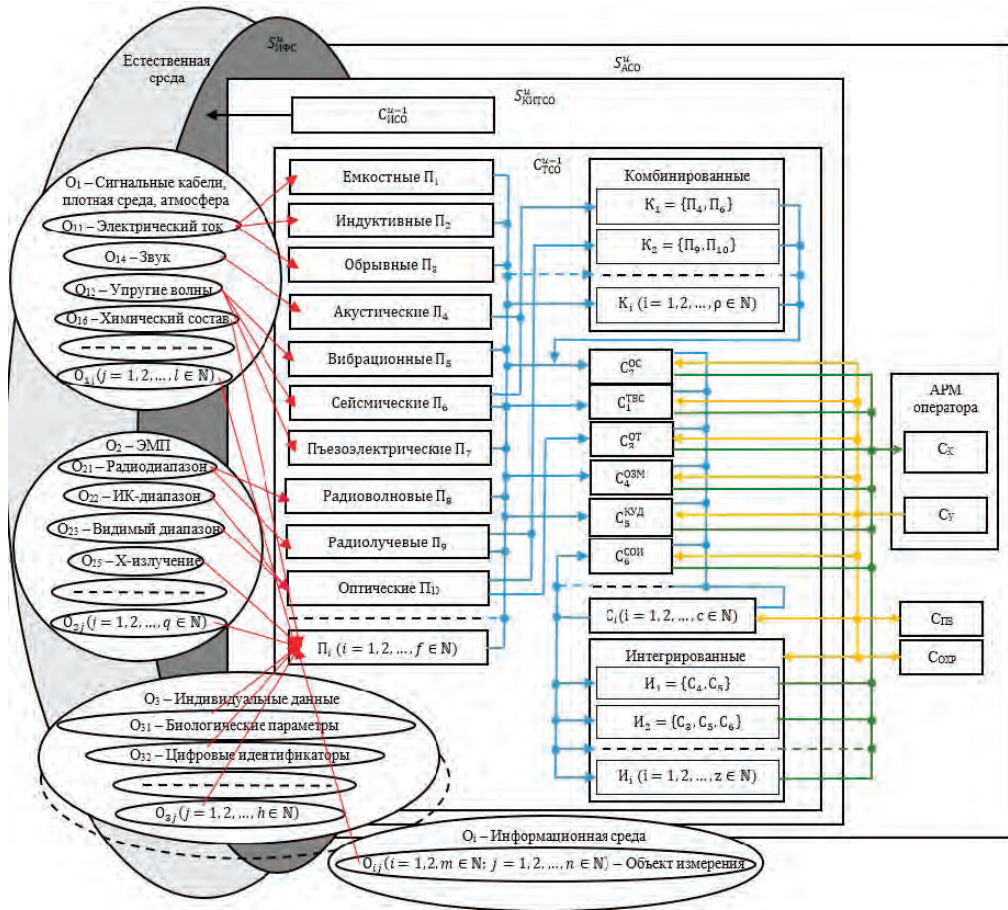


Рис. 4. Агрегативная модель формализации связности каналов в универсальной автоматизированной системе охраны

трицей связей объекта управления и управляющих элементов:

$$V = \left\| V_{o_{ij}n_i, \kappa_i, c_i, u_i} \right\|, \quad (10)$$

где  $o_{ij} \in O, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}; n_i \in \Pi, i = \overline{1, f}; K_i \in K, i = \overline{1, p}; u_i \in U, i = \overline{1, z}.$

Общий вид целевого функционала приводит к решению вариационной задачи оптимального управления в понтрянгинской форме, где требуется на заданном временном отрезке  $[t_H, t_K]$  минимизировать функционал:

$$F = H_{\Pi}(Q_{II}(t_H), t_H) - H_{\Pi}(Q_{II}(t_K), t_K) + \int_{t_H}^{t_K} u^t(Q_{II}(t), t) V h_{\Pi/J}(Q_{II}(t), t) dt \rightarrow \min_u, \quad (11)$$

где  $h_{\Pi/J}$  – вектор производной по времени от условной энтропии покрытия по  $J$  элементам, взаимодействующим с объектом управления;  $u^t(Q_{II}(t), t)$  – вектор управляющих воздействий на информационные потоки.

При этом требуется обеспечить минимизацию расхода временных, технологических (информационных и технических) и когнитивных ресурсов  $C_0$  при

изменении  $C_0$  (Т) от начального  $C_0$  ( $T_H$ ) до конечного  $C_0$  ( $T_K$ ) значения:

$$\psi: C_0(T_H) \rightarrow C_0(T_K) | C_i(t) \in C_i, t \in [T_H, T_K], \quad (12)$$

$$L(C_0(T_H), C_0(T_K)) + \int l(C(t), t) dt \rightarrow \min, \quad (13)$$

где  $\psi$  – целевой оператор ресурсного отображения объекта управления;  $L(\cdot)$  – терминант функционала расходования ресурсов;  $l(\cdot)$  – интегрант функционала расходования ресурсов;  $C$  – ресурсы, расходуемые на управление.

Отношение между элементами эргосистемы происходит на уровне ресурсного обмена. Для каждого элемента определен обобщенный вектор-столбец ресурсов  $C_i$ :

$$C_i^T = (C_{TCi}^T, C_{КОGi}^T), i = \overline{1, n}. \quad (14)$$

где  $C_{TCi}^T$  – вектор технических компонентов,  $C_{КОGi}^T$  – вектор когнитивных компонентов человека-оператора.

Вектор ресурсов является векторной функцией времени:

$$C = C(t), t \in [T_H, T_K]. \quad (15)$$

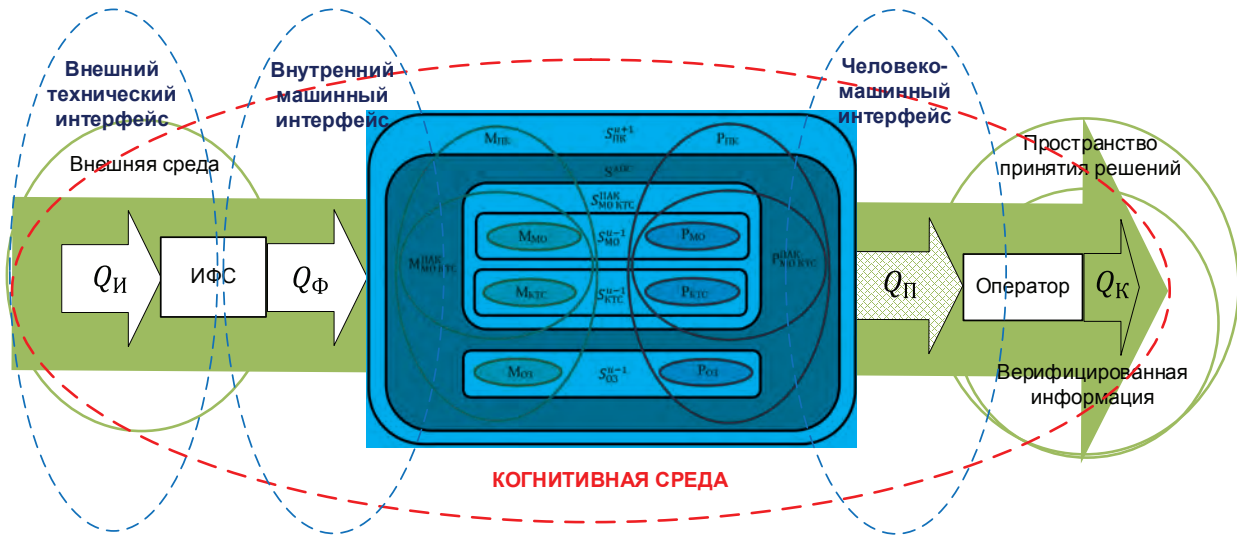


Рис. 5. Концептуальная модель когнитивной эргосистемы физической защиты объектов инфраструктуры от ВТДВ

Для объекта управления задан обобщенный вектор, описывающий начальное состояние  $C_0(T_H)$  и вектор программных требований в конце временного отрезка управления  $C_0(T_K)$ . Динамика обобщенного вектора ресурсов может быть представлена системой стохастических дифференциальных уравнений в общем виде [14]:

$$\dot{C}(t) = F(C(t), t, Q_H(t)), \quad (16)$$

где  $Q_H(t)$  – вектор ВТДВ.

Разработанная модель когнитивной эргосистемы представляет собой надсистему параметрического контроля (регулятор), которая образует единое пространство информационного обмена. Программно-математическое обеспечение надсистемы параметри-

ческого контроля включает реализацию моделей ПАК и выполнение программ комплексом аппаратно-программных средств (АПС) по [10, 22]. В свою очередь, в качестве АПС ( $S$ ) рассматриваются модель ( $M$ ) подсистемы оценки защищенности ( $OЗ$ ) объектов инфраструктуры и ПАК мониторинга обстановки ( $МО$ ) и контроля технического состояния ( $КТС$ ) КИТСО с комплексом программ  $P$  (рис. 5).

Здесь  $M_{ПК} = (M_{МО\ КТС}^{ПАК}(\{M_{МО}\}, \{M_{КТС}\}), \{M_{OЗ}\})$  – модель надсистемы параметрического контроля;

$P_{ПК} = (P_{МО\ КТС}^{ПАК}(\{P_{МО}\}, \{P_{КТС}\}), \{P_{OЗ}\})$  – комплекс программ надсистемы параметрического контроля;

$$= \left( S_{ПК}^{u+1}(\{M_{МО}\}, \{P_{ПК}\}) \right. \\ \left. S^{АПС} \left( S_{МО\ КТС}^{ПАК} \left( S_{МО}^{u-1}(\{M_{МО}\}, \{P_{МО}\}) \right), \left( S_{КТС}^{u-1}(\{M_{КТС}\}, \{P_{КТС}\}) \right) \right) \right) \\ \left( S_{OЗ}^{u-1}(\{M_{OЗ}\}, \{P_{OЗ}\}) \right)$$

где  $S_{ПК}^{u+1}$  – программно-математическое обеспечение надсистемы параметрического контроля.

Модель функционирования эргосистемы в условиях ВТДВ может быть описана обобщенным вектором состояния.

Динамика объекта управления в общем виде описывается уравнением:

$$\dot{q}_i = \varphi(q, t, S(t), u), \quad (17)$$

где обобщенная координата  $q_i$  описывает движение (изменение состояний) объекта управления,  $u$  – управление и  $S(t) = S_{OY}(t) - S_P(t)$  – обобщенная энтропия эргосистемы как разность между производством энтропии объектом управления и производством энтропии регулятором.

Учитывая выражения (11), (16) распределение качеств управления может быть представлено системой

уравнений функции Ляпунова для оценки устойчивости движения элементов эргасистемы<sup>13</sup>:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \sum_{i=1}^n q_i \varphi(q, t, k(S_0 - (S_{TC} + S_{КОГ})), u) + \\ &+ (S_0 - (S_{TC} + S_{КОГ}))(\dot{S}_0 - (\dot{S}_{TC} + \dot{S}_{КОГ})) \leq 0, \quad (18) \\ \frac{dV}{dt} &= \sum_{i=1}^n q_i \varphi(q, t, k(S_0 - (H_{TC} + H_{КОГ})), u) + \\ &+ (H_0 - (H_{TC} + H_{КОГ}))(\dot{H}_0 - \\ &- (\dot{H}_{TC} + \dot{H}_{КОГ})) \leq 0. \quad (19) \end{aligned}$$

Первое слагаемое характеризует управляемость, второе – робастность эргасистемы. Здесь  $(S_{TC} + S_{КОГ})$  и  $(H_{TC} + H_{КОГ})$  – суммарные ресурсные и информационные энтропии технического (ТС) и когнитивного (КОГ) регуляторов соответственно. Тогда из определения информационного критерия оптимальности (7) следует, что решение системы уравнений (18), (19) приводит к максимизации аргумента функционала  $J_0(H, P(q))$ .

### Результаты

Концептуально в любой теории выделяются метод и результат в качестве фундаментальной основы, то есть описание (обоснование) процесса перехода от формулировки задачи к ее решению. Когнитивная эргасистема основывается на многоуровневой модели переработки информации в процессе человеческого познания.

Таким образом, в результате анализа ВТДВ на объекты инфраструктуры можно сделать вывод об устаревании существующей концепции человеко-машинного взаимодействия и схемы определения свойств технической подсистемы, влияющих на эффективность физической защиты в операции противодействия. Реализация параметрического контроля в концептуальной модели когнитивной эргасистемы осуществляется за счет обработки информации от множества гетерогенных параметров. Методологическое обеспечение программно-математического аппарата надсистемы параметрического контроля является основой для синтеза элементов эргасистемы, отвечающих требованиям к уровню ситуационной осведомленности человека-оператора. Алгоритмизация разработанной модели позволит при неполной информации и ограниченности ресурсов повысить эффективность принимаемых решений по защите объектов инфраструктуры, снизить потери от возможного принятия нерациональных и ошибочных решений в условиях неопределенности, вызванными ВТДВ.

### Литература

1. Гаврилов Д.А., Ловцов Д.А., Татарина Е.А. Теоретические основы эффективной переработки визуальной информации в автоматизированной оптико-электронной системе наземно-космического мониторинга // Профессорский журнал. Серия: Технические науки. 2019. № 3(3). С. 26–40.
2. Зеленский А.А., Грибков А.А. Акторное моделирование когнитивных систем реального времени: онтологическое обоснование и программно-математическая реализация // Философская мысль. 2024. № 1. С. 1–12.
3. Иванов И.В. Параметрическое распознавание объекта на основе корреляции сейсмического и акустического сигналов. Сборник научных материалов «Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники». Пермь: ПВИ войск национальной гвардии, 2020. С. 102–108.
4. Князев В.В. Метод сведения векторного показателя к скалярному с индикацией недопустимых сочетаний значений частных показателей // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2019. № 2. С. 30–33.
5. Кореньков В.В., Ульянов С.В., Шевченко А.А., Шевченко А.В. Интеллектуальная когнитивная робототехника. Ч. 1. Технологии квантовых когнитивных вычислений. М.: КУРС. 2022. 557 с.
6. Ловцов Д.А. Архитектура базы данных и знаний подсистемы планирования и координации информационных процессов в иерархической эргасистеме // Правовая информатика. 2020. № 4. С. 4–19.
7. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: монография. М.: РГУП, 2020. 314 с.
8. Ловцов Д.А., Гаврилов Д.А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: Монография. М.: ООО «Технолоджи-300», 2019. 164 с.
9. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: ЛЕНАНД, 2023. 532 с.
10. Скиба В.А. Синтез информационно-коммуникационного пространства эргатических систем военного назначения // Военная мысль. 2018. № 11. С. 39–48.
11. Солодов А.А. Байесовская адаптация в пуассоновских когнитивных системах // Открытое образование. 2019. № 4. С. 23–31.

<sup>13</sup> Ульянов С.В., Решетников А.Г., Мамаева А.А. Гибридные когнитивные нечеткие системы управления автономным роботом на основе нейронного интерфейса и технологии мягких вычислений // Программные продукты и системы. 2017. № 3(30). С. 420–424.



12. Солодов А.А. Оптимальная пуассоновская когнитивная система с марковской моделью обучения // Открытое образование. 2021. № 6. С. 45–52.
13. Сухов А.В., Пузийчук С.И. Информационный анализ эффективности радиопротиводействия беспилотным воздушным судам // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5(69). С. 58–70.
14. Сухов А.В., Конюшев В.В. Цифровая полиция как эргатическая система, функционирующая в цифровой экосистеме // Правовая информатика. 2021. № 2. С. 28–39. DOI 10.21681/1994-1404-2021-2-28-39.
15. Сухов А.В., Конюшев В.В., Величко П.С., Левин А.И. Научно-методические подходы к созданию информационных моделей в интересах поддержки принятия решений в органах внутренних дел Российской Федерации // Охрана, безопасность, связь. 2022. № 7–2. С. 108–117.

# THE CONCEPT OF COGNITIVE ADAPTATION OF THE ERGASYSTEM IN THE TASK OF OPTIMIZING MANAGEMENT DECISIONS ON THE PHYSICAL PROTECTION OF INFRASTRUCTURE FACILITIES

**Andrey V. Sukhov**, Dr.Sc. (Technology), Professor of the Department of Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnology, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia.  
E-mail: [avs57@mail.ru](mailto:avs57@mail.ru)

**Valery A. Skiba**, Dr.Sc. (Technology), Head of the Department of the Military Academy of the Peter the Great Strategic Missile Forces, Moscow, Russia.  
E-mail: [cdf777@yandex.ru](mailto:cdf777@yandex.ru)

**Igor V. Ivanov**, Ph.D. (Pedagogy), doctoral student of the Military Academy of the Peter the Great Strategic Missile Forces, Moscow, Russia.  
E-mail: [axeellless@mail.ru](mailto:axeellless@mail.ru)

**Keywords:** conceptual model, cognitive ergasystem, cognitive environment, information optimization criterion, human operator, software and mathematical support, parametric control, regulator, coverage entropy, information entropy.

## Abstract

*The purpose: the article is devoted to the concept substantiation of the ergasystems cognitive adaptation to the human function perception of visual information. This concept is needed to optimize management decisions on the physical protection of infrastructure facilities from high-tech destructive influences. To verify the adequacy of these theoretical positions, a conceptual model of the cognitive ergasystems has been developed. It describes the information-theoretical principles of the adaptability of the information exchange environment to the cognitive abilities of the human operator.*

*Method: to present this task in a simplified form, a set-theoretic method to formalize the technological process of processing information in the target information space of relations between the elements of the ergasystems was used.*

*Results: in the process of making managerial decisions on the infrastructure facilities physical protection, the software and mathematical support of the parametric control super-system for the existing automated security system is a regulator. At the same time, optimization of management decisions is achieved by reducing the entropy of the ergasystems coverage. In turn, by reducing information entropy at the verification stage, situational awareness of the decision-maker increases.*

**References**

1. Gavrilov D.A., Lovcov D.A., Tatarinova E.A. Teoreticheskie osnovy jeffektivnoj pererabotki vizual'noj informacii v avtomatizirovannoj optiko-jelektronnoj sisteme nazemno-kosmicheskogo monitoringa // Professorskij zhurnal. Serija: Tehnicheskie nauki. 2019. № 3(3). S. 26–40.
2. Zelenskij A.A., Gribkov A.A. Aktornoe modelirovanie kognitivnyh sistem real'nogo vremeni: ontologicheskoe obosnovanie i programmno-matematicheskaja realizacija // Filosofskaja mysl'. 2024. № 1. S. 1–12.
3. Ivanov I.V. Parametricheskoe raspoznavanie ob#ekta na osnove korrelyacii sejsmicheskogo i akusticheskogo signalov. Sbornik nauchnyh materialov «Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya voennoj i special'noj tehniki». Perm': PVI vojsk nacional'noj gvardii, 2020. S. 102–108.
4. Knjazev V.V. Metod svedenija vektornogo pokazatelja k skaljarnomu s indikaciej nedopustimyh sochetanij znachenij chastnyh pokazatelej // Trudy FGUP «NPCAP». Sistemy i pribory upravlenija. 2019. № 2. S. 30–33.
5. Koren'kov V.V., Ul'janov S.V., Shevchenko A.A., Shevchenko A.V. Intellektual'naja kognitivnaja robototehnika. Ch. 1. Tehnologii kvantovyh kognitivnyh vychislenij. M. : KURS. 2022. 557 s.
6. Lovcov D.A. Arhitektura bazy dannyh i znaniy podsistemy planirovanija i koordinacii informacionnyh processov v ierarhicheskoj jergasisteme // Pravovaja informatika. 2020. № 4. S. 4–19.
7. Lovcov D.A. Informacionnaja teorija jergasistem: monografija. M. : RGUP, 2020. 314 s.
8. 8. Lovcov D.A., Gavrilov D.A. Modelirovanie optiko-jelektronnyh sistem distancionno pilotiruemyh apparatov: Monografija. M. : OOO «Tehnolodzhi-300», 2019. 164 s.
9. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. M. : LENAND, 2023. 532 s.
10. Skiba V.A. Sintez informacionno-kommunikacionnogo prostranstva jergaticheskikh sistem voennogo naznachenija // Voennaja mysl'. 2018. № 11. S. 39–48.
11. Solodov A.A. Bajesovskaja adaptacija v puassonovskih kognitivnyh sistemah // Otkrytoe obrazovanie. 2019. № 4. S. 23–31.
12. Solodov A.A. Optimal'naja puassonovskaja kognitivnaja sistema s markovskoj model'ju obuchenija // Otkrytoe obrazovanie. 2021. № 6. S. 45–52.
13. Suhov A.V., Puzijchuk S.I. Informacionnyj analiz jeffektivnosti radioprotivodejstvija bespilotnym vozdušnym sudam // Informacionno-jeconomicheskie aspekty standartizacii i tehničeskogo regulirovanija. 2022. № 5(69). S. 58–70.
14. Suhov A.V., Konjushev V.V. Cifrovaja policija kak jergaticheskaja sistema, funkcionirujushhaja v cifrovoj jekosisteme // Pravovaja informatika. 2021. № 2. S. 28–39. DOI 10.21681/1994-1404-2021-2-28-39.
15. Suhov A.V., Konjushev V.V., Velichko P.S., Levin A.I. Nauchno-metodicheskie podhody k sozdaniju informacionnyh modelej v interesah podderzhki prinjatija reshenij v organah vnutrennih del Rossijskoj Federacii // Ohrana, bezopasnost', svjaz'. 2022. № 7–2. S. 108-117.