

С. И. Суятинов, канд. техн. наук, доц., ssi@bmstu.ru,
Т. И. Булдакова, д-р техн. наук, проф., buldakova@bmstu.ru,
Ю. А. Вишневская, аспирант, vishne-yulya@yandex.ru,
МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва

Синергетическая модель ситуационной осведомленности человека-оператора в эргатических системах управления подвижными объектами

В настоящее время особую актуальность приобретают исследования эргатических систем управления подвижными объектами, в которых важная роль отводится человеку-оператору. Эффективность функционирования таких систем в значительной мере зависит от состояния человека-оператора и, в первую очередь, от его ситуационной осведомленности. Недостаточная или неадекватная осведомленность оператора о ситуации в подобных системах является одним из основных факторов несчастных случаев, связанных с человеческой ошибкой. Поэтому актуальной является задача создания моделей профессиональной деятельности человека-оператора, включая модели его ситуационной осведомленности. Показано, что в основе ситуационной осведомленности лежат ментальные модели человека-оператора. Их адекватность зависит от многих субъективных характеристик (факторов), свойственных человеку, например, от его интеллекта, психического состояния, накопленного опыта. Математическая формализация позволит уменьшить субъективную составляющую в формировании ситуационной осведомленности. Отмечено, что важными свойствами ситуационной осведомленности человека-оператора являются ассоциативность и ранжирование информации в зависимости от контекста решаемой задачи. Поэтому ситуационная осведомленность обеспечивает восприятие текущей ситуации и позволяет принимать правильные решения в ответ на те или иные угрозы. Приведены уровни реализации ситуационной осведомленности у человека-оператора. Особенность первого уровня состоит в необходимости совместной обработки большого объема разнородной информации в целях выявления значимых фактов и критической информации о внешних объектах. Задачей второго уровня является формирование целостной картины ситуации, что основано на имеющихся знаниях и предшествующем опыте. Третий, самый высокий, уровень понимания ситуации основывается на способности человека прогнозировать действия подвижных объектов и последствия этих действий. Предложено формировать модель ситуационной осведомленности на основе синергетического подхода Хакена. Как и большинство других интеллектуальных систем, синергетическая модель Хакена включает процессы обучения и распознавания. Дано описание процесса распознавания критической ситуации с помощью обученной синергетической модели. Отмечено значение параметра внимания, который характеризует важность конкретной характеристики состояния управляемого объекта в эргатической системе. Исследованы ассоциативные свойства синергетической модели и ее способность ранжирования исходной информации в процессе анализа угроз при управлении вертолетом.

Ключевые слова: эргатическая система, ситуационная осведомленность, ситуационная модель, синергетика, распознавание ситуации, параметр внимания

Введение

Среди множества сложных систем особое место занимает класс эргатических систем, которые с развитием технических средств все больше превращаются из систем контроля в системы управления, где человек-оператор (ЧО) занимает доминирующее положение. В настоящее время подобные системы "человек—среда—машина" находят широкое применение во многих областях, включая авиацию, управление воздушным движением, судоходство, здравоохранение, реагирование на чрезвычайные ситуации, управление атомными электростанциями и др. При этом наиболее сложными при проектировании и ответственными при эксплуатации являются эргатические системы управления (ЭСУ) подвижными объектами [1–3]. Это объясняется особой ролью ЧО в недопущении критических режимов функционирования подобных объектов. Более того, недостаточная или неадекватная осведомленность ЧО о ситуации является одним из основных факторов несчастных случаев, связанных с человеческой ошибкой.

В связи с этим одна из важнейших проблем разработки высокоэффективных ЭСУ подвижными объектами заключается в оптимальном распределении функций между ЧО и техническими средствами с учетом психофизиологических возможностей человека [4–6]. Для ее решения требуются модели профессиональной деятельности ЧО, включающие модели его ситуационной осведомленности.

Под ситуационной осведомленностью (СО) будем понимать способность ЧО воспринимать разнородную информацию об окружающей среде, анализировать ее, выделять ключевые моменты и прогнозировать их влияние на выполнение тех или иных задач [7–9]. В основе этой способности лежат внутренние ментальные модели человека, сформированные на основании полученных знаний и предшествующего опыта. В связи с усложнением решаемых задач от ЧО требуется совершенствовать свои способности в овладении СО [10–13].

В настоящее время осмыслить сложную ситуацию помогают системы поддержки принятия решения. В основе их работы лежат базы

знаний типовых ситуаций, наполнение которых выполняется экспертами на основе собственной интуиции и имеющегося практического опыта [14–17]. Однако основными ограничениями экспертного подхода являются субъективизм и деградация текущих знаний в условиях изменчивой обстановки.

Поэтому необходимы новые подходы к формированию ситуационной модели как основы формализованного представления СО в ЭСУ подвижными объектами [18, 19].

Уровни реализации ситуационной осведомленности

В ЭСУ подвижными объектами СО человека-оператора имеет иерархическую структуру и представляется как результат анализа имеющейся внешней информации и оценки ситуации [20, 21]. Обычно выделяют три уровня СО:

- восприятие разнородной информации и выделение критических факторов в окружающей среде;
- понимание значения этих факторов в контексте реализации заданных целей управления;
- прогнозирование развития ситуации и возможных последствий.

Сначала на первом уровне выполняется совместная обработка большого объема разнородной информации, чтобы выявить значимые факты и критическую информацию о внешних объектах.

Затем на втором уровне у ЧО формируется целостная картина ситуации, включая понимание значимости действующих объектов и событий в контексте поставленной цели или решаемой задачи. Такое понимание ситуации основано на имеющихся знаниях и предшествующем опыте, т. е. на ментальных моделях ЧО.

Отличительной особенностью этих двух уровней является уникальная способность человека ранжировать исходную информацию по ее значимости в контексте решаемой задачи. Здесь следует отметить, что результат ранжирования информации зависит не только от имеющегося опыта, но и от текущего психологического состояния человека [9, 22, 23].

Третий, самый высокий уровень понимания ситуации ЧО основывается на его способности прогнозировать действия объектов и последствия этих действий. Эта способность достигается за счет понимания ситуации, знания состояния и динамики развития (поведения) элементов внешней среды.

Ясное понимание ситуации основывается на четком выявлении элементов, которые определяют, что необходимо воспринимать, понимать и проецировать на будущее. Эта интегрированная картина формирует основную

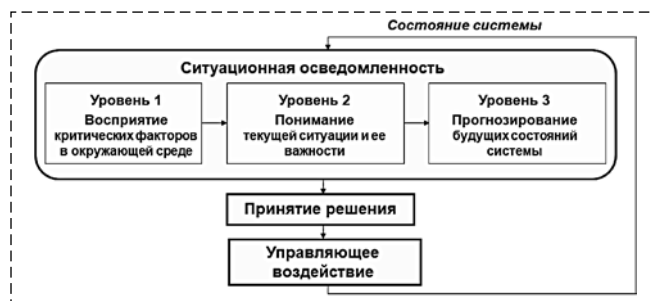


Рис. 1. Ситуационная осведомленность как этап процесса управления

Fig. 1. Situational awareness as a stage in control process

организующую функцию, которая определяет принятие решений и действия (рис. 1).

На практике опытный ЧО имеет внутреннее представление о системе, с которой он работает, — ментальную модель [24–26]. Хорошо развитая ментальная модель ЧО обеспечивает:

- а) знание соответствующих элементов системы, которые могут быть использованы для акцентирования внимания и классификации информации в процессе восприятия;
- б) средство интеграции элементов для формирования понимания их значения;
- в) механизм проецирования будущих состояний системы на основе ее текущего состояния и понимания ее динамики.

Во время активного принятия решений восприятие человеком-оператором текущего состояния системы может быть сопоставлено с соответствующими схемами в памяти, которые отображают прототипные ситуации, или состояния модели системы. Эти прототипные ситуации обеспечивают ассоциативную классификацию и понимание ситуации, а также прогноз того, что может произойти в будущем [27].

Основным преимуществом наличия этих механизмов является то, что текущая ситуация не может быть точно такой же, как та, с которой человек-оператор сталкивался ранее. Процесс согласования (распознавания образов) может быть почти мгновенным из-за превосходящих способностей человека сопоставлять шаблоны.

Когда человек обладает достаточно полной и хорошо структурированной ментальной моделью поведения в определенных ситуациях, он обеспечит:

- а) динамическое направление внимания к критическим сигналам окружающей среды;
- б) ожидания относительно будущих состояний окружающей среды (включая то, что ожидать, а также то, чего не следует ожидать) на основе проекционных механизмов модели;
- в) прямую одношаговую связь между признанными классификациями ситуаций и типичными действиями, обеспечивающими быстрое принятие решений.

Таким образом, принципиально важными свойствами СО являются:

— ассоциативность, т. е. способность формировать целостное представление о ситуации по ее фрагментам;

— ранжирование информации в зависимости от контекста решаемой задачи.

Поэтому модель СО должна отражать эти свойства.

Формирование модели ситуационной осведомленности на основе синергетического подхода Хакена

Свойством ассоциативности обладают некоторые нейронные сети, например, сеть Хопфилда [28, 29]. Основным недостатком сети Хопфилда при распознавании является наличие ложных образов, что совершенно недопустимо при распознавании ситуации в эргатических системах. Кроме того, хотя ассоциативные сети помогают формировать целостное представление о ситуации по неполной информации, однако не могут использоваться как модели СО, так как при их обучении не выполняется ранжирование информации.

В связи с этим представляется перспективным использование синергетической теории Хакена при формировании модели СО. Как и в большинстве других интеллектуальных систем, синергетическая модель Хакена включает процессы обучения и распознавания [30–32].

В процессе обучения формируется потенциальная функция E в n -мерном пространстве со множеством областей притяжения (аттракторов). Указанная функция определяет структуру поля распределения потенциалов. Особенностью структуры потенциального поля является множество локальных минимумов, координаты которых определяют эталон, при этом глобальный минимум отсутствует.

Процесс распознавания ситуации по вектору признаков q описывается дифференциальным уравнением $\dot{X} = -\partial E / \partial X$ и сводится к его решению при заданных начальных условиях $X(0) = X_0$. Эти начальные условия представляют исходный образ распознаваемой ситуации, а решение — образ эталонной ситуации V .

Хакен обосновал представление потенциальной функции в форме:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \lambda_k (X^+ V_k)^2 + \frac{B+C}{4} \left(\sum_{k=1}^M (X^+ V_k)^2 \right)^2 - \frac{B}{4} \sum_{k=1}^M (X^+ V_k)^4.$$

Здесь X^+ является присоединенным вектором, который удовлетворяет уравнению

$$X^+ V_k = V_k^+ X, \quad k = 1, \dots, M,$$

где M — число эталонов.

По Хакену, динамическая система для распознавания и классификации ситуации на основе зафиксированного вектора признаков X имеет следующий вид:

$$\dot{X} = \sum_{k=1}^M \lambda_k (V_k^+ X) V_k - B \sum_{k' \neq k} \sum_{k \neq k'} (V_k^+ X)^2 (V_k^+ X) V_k - C (X^+ X) X, \quad (1)$$

где B и C — постоянные; λ_k — параметр внимания k -го эталонного образа. Образ может быть распознан, если его параметр внимания λ_k положителен, а скорость сходимости распознавания образов контролируется с помощью λ_k , B и C .

Таким образом, процесс распознавания исходного образа (паттерна) состоит в следующем: для данного тестового паттерна X_0 динамический процесс, представленный системой (1), переводит исходное неизвестное состояние $X(0) = X_0$ через промежуточные состояния $X(t)$ в один из эталонных паттернов-состояний V_k , т. е. $X_0 \rightarrow X(t) \rightarrow V_k, 1 \leq k \leq M$.

Исходный ситуационный вектор состояния отличается от своего прототипа (эталона) и может содержать только его фрагменты, но в силу свойств потенциальной функции E прототип будет восстановлен полностью. Так реализуется свойство ассоциативности.

Параметр внимания λ_k влияет на форму аттрактора, делая его склоны либо более пологими, либо более крутыми. Это позволяет выделять более значимую в данном контексте информацию. Таким образом, задавая априори разные значения параметра внимания для различных значений k , можно осуществить ранжирование информации по ее значимости для данной задачи. Поэтому, в отличие от ассоциативных нейронных сетей, синергетическая модель обладает свойством ранжирования данных.

Предложенная модель Хакена позволяет не только восстановить образ (ситуацию) по ее фрагменту, но и решить задачу классификации.

Используя замену переменной $p_k = V_k^+ X$ в (1), Хакен перешел к уравнению

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = \lambda_k p_k - B p_k \sum_{i \neq k} p_i^2 - C p_k \sum_{i=1}^M p_i^2. \quad (2)$$

Переменная $p_k = V_k^+ X$ получила название "параметр порядка".

Уравнение (2) используется для классификации образов. Для текущего тестируемого вектора X_0 вычисляется его параметр порядка

$p_k(0) = V_k^+ X_0$. Здесь V_k^+ — сопряженный вектор. Значение $p_k(0)$ является начальным условием для решения уравнения (2). Исходный образ ближе к k -му эталону V_k , если полученное решение p_k имеет максимальное значение.

Пример применения синергетической модели

Важной частью управления современными летательными аппаратами является СО ЧО, и для достижения успешных результатов в авиации требуется наличие высокого уровня СО. Чтобы выполнять полеты в динамичной летной обстановке, летный экипаж должен не только знать, как управлять воздушным судном и надлежащей тактикой, процедурами и правилами полета, но также должен иметь точную и актуальную картину состояния самолета и окружающей среды [19, 20, 33].

В качестве примера оценим ассоциативные свойства синергетической модели и ее способность ранжирования исходной информации в процессе анализа угроз при управлении вертолетом.

При выполнении полета могут возникать угрозы, влияющие на качество выполнения полетного задания. Эти угрозы разделим на три категории:

- угрозы, влияющие на качество выполнения задания (категория 1);
- угрозы целостности вертолета, которые характеризуются временем, достаточным для осмысления ситуации экипажем (категория 2);
- угрозы целостности вертолета, которые характеризуются временем, недостаточным для осмысления ситуации экипажем (категория 3).

Каждой категории соответствует свой эталонный вектор.

Введем характеристики состояния (ситуационной осведомленности) (см. таблицу). В таблице также приведены эталонные векторы. Векторы-прототипы выбраны экспертами исходя из их опыта и логики здравого смысла.

Определим категорию угроз, задаваемую ситуационным вектором X_0 .

Первоначально примем все параметры внимания равными единице. Затем для текущего тестируемого вектора $X_0 = [-1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$ вычислим его параметры порядка: $p_1 = -1,2472$; $p_2 = 1,3416$; $p_3 = 1,2472$. При равных значениях параметров внимания можно классифицировать текущую ситуацию по значениям параметров порядка для каждого эталона (фактически, по начальным условиям, без расчета переходных процессов).

Второй параметр порядка имеет максимальное значение, следовательно, тестируемый вектор X_0 соответствует классу, который определяет эталон V_2 . Таким образом, текущая ситуация, задаваемая вектором X_0 , соответствует второй категории.

Проверим этот вывод, построив графики переходных процессов. Для этого решим систему уравнений (2) при $M = 3$, $B = C = 1$. При заданных параметрах получим систему трех уравнений:

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_1 p_1 - p_1^3 - 2p_1(p_2^2 + p_3^2);$$

$$\frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_2 p_2 - p_2^3 - 2p_2(p_1^2 + p_3^2);$$

$$\frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_3 p_3 - p_3^3 - 2p_3(p_1^2 + p_2^2).$$

Результаты исследования синергетической модели и графики переходных процессов подтверждают полученный вывод (рис. 2). Здесь по оси ординат отложены текущие значения параметров порядка p , а по оси абсцисс — текущее время t .

Теперь определим влияние параметра внимания на результат идентификации ситуации. Параметр внимания характеризует важность конкретной характеристики состояния. В данном случае он определяется оценкой времени, которое необходимо экипажу для принятия решения, а также значимостью возможных последствий при возникновении этой характеристики. Поэтому будем считать, что чем меньше времени отводится экипажу на принятие решения в сложной ситуации, тем больше должен быть параметр внимания.

Характеристики состояния и векторы-прототипы
State characteristics and prototype vectors

Категория	Характеристики состояния	Текущий вектор X_0	Эталон-вектор V_1	Эталон-вектор V_2	Эталон-вектор V_3
1	Отказ двигателя	-1	-1	-1	1
2	Перебои в работе	1	-1	1	-1
3	Стуки в двигателе	-1	1	1	-1
4	Недопустимая температура масла в редукторе	1	-1	-1	1
5	Отказ основного привода управления рулевыми плоскостями	1	-1	1	1
6	Отказ резервного привода управления рулевыми плоскостями	1	-1	-1	1
7	Отказ системы спутниковой навигации	1	1	1	1
8	Отказ системы инерциальной навигации	1	-1	-1	1
9	Недостаточная видимость	1	-1	-1	1

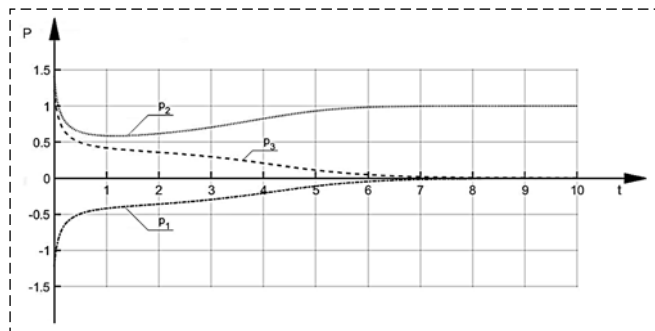


Рис. 2. Решение системы дифференциальных уравнений с равными значениями параметров внимания

Fig. 2. Solving a system of differential equations with equal values of attention parameters

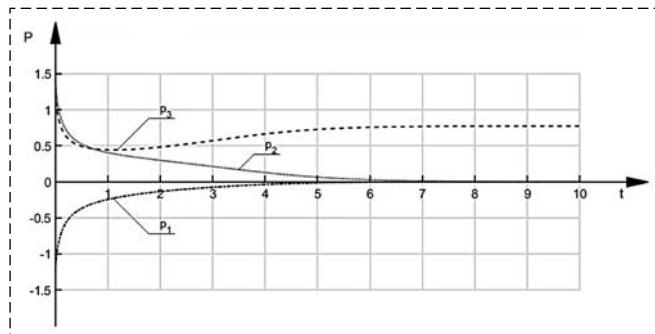


Рис. 3. Решение системы дифференциальных уравнений с заданными значениями параметров внимания

Fig. 3. Solving a system of differential equations with given values of attention parameters

Рассмотрим ситуацию, когда заданы следующие значения параметров внимания: $\lambda_1 = 0,1$; $\lambda_2 = 0,3$; $\lambda_3 = 0,6$. Переходные процессы установления параметров порядка, получаемые в процессе решения уравнения (2), представлены на рис. 3.

На графиках переходных процессов видно, что одна кривая стремится к 1, а две другие стремятся к 0. Поэтому с учетом параметров внимания в процессе идентификации текущего вектора X_0 ситуация будет классифицирована как категория 3.

Во втором случае, при разных значениях параметров внимания, синергетическая модель продемонстрировала свойство ранжирования информации.

Заключение

СО обеспечивает адекватное восприятие текущей ситуации и позволяет принимать правильные решения в ответ на те или иные угрозы. В основе СО лежат ментальные модели человека-оператора. Их адекватность зависит от многих субъективных характеристик (факторов), свойственных человеку, например, его интеллекта, психического состояния. Математическая формализация СО позволяет уменьшить субъективную составляющую в формировании

СО. В качестве математической основы формирования математической модели СО использован синергетический вычислитель Хакена.

На примере показана возможность классификации ситуационного вектора по степени возможных угроз выполнению задания, а также эффект ранжирования информации по ее значимости в конкретной задаче.

Список литературы

1. Nosov P. S., Palamarchuk I. V., Zinchenko S. M., Popovych I. S., Nahrybelnyi Ya. A., Nosova H. V. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport // *Bulletin of the Karaganda University. Physics Series*. 2020. N. 1 (97). P. 58–69.
2. Теряев Е. Д., Петрин К. В., Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б. Современные проблемы автоматизации и интеллектуализации эргатических систем управления подвижными объектами // *Интеллектуальные системы управления*. Под ред. С. Н. Васильева. М.: Машиностроение, 2010. С. 85–95.
3. Тырва В. О. Автоматизация эргатической системы "человек-машина" на основе применения в ней антропоморфного управления // *Автоматизация в промышленности*. 2021. № 2. С. 3–7.
4. Сергеев С. Ф. Нейроадаптивные биоморфные интерфейсы в эргатических системах: проблемы и решения // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2016. Т. 17, № 9. С. 599–605.
5. Тырва В. О., Саушев А. В. О реализации совмещаемых управляющих воздействий на объект в системах "человек-машина" // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2020. Т. 21, № 5. С. 274–281. doi: 10.17587/mau.21.274-281.
6. Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б. Интеллектуальная поддержка человека-оператора в эргатических системах управления // *Матер. 2-й междунар. конф. "Эрго-2016. Человеческий фактор в сложных технических системах и средах"*. Санкт-Петербург, 2016. С. 117–124.
7. Buldakova T. I., Suyatinov S. I. Assessment of the State of Production System Components for Digital Twins Technology // *Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges. Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 259. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-32579-4_20.
8. Меркулов В. И., Михеев В. А., Липатов А. А., Чернов В. С. Особенности интеграции и комплексной обработки информации в системах ситуационной осведомленности воздушного базирования // *Успехи современной радиоэлектроники*. 2016. № 6. С. 3–21.
9. Buldakova T. I., Sokolova A. V. Structuring Information about the State of the Cyber-Physical System Operator // *International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*. Moscow, Russia. 2020. P. 1–5. doi: 10.1109/Inforino48376.2020.9111654.
10. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Воробьева Т. В., Ковешников А. А. Обеспечение ситуационной осведомленности для повышения надежности движения высокоавтоматизированных транспортных средств // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2020. № 4 (94). С. 27–29.
11. Шибанов Г. П. Оценка степени обученности оператора для управления летательным аппаратом // *Мехатроника, автоматизация и управление*. 2017. Т. 18, № 7. С. 492–495.
12. Anokhin A., Burov S., Parygin D., Rent V., Sadovnikova N., Finogeev A. Development of Scenarios for Modeling the Behavior of People in an Urban Environment // *Society 5.0: Cyberspace for Advanced Human-Centered Society. Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 333. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63563-3_9.
13. Большаков А. А., Виштак О. В., Фролов Д. А. Методика и алгоритмы управления интерактивной компьютерной обучающей системой для подготовки персонала атомной станции // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 6-2. С. 234–240.

14. Boukhayma K., El Manouar A. Evaluating decision support systems // 15th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA). 2015. P. 404–408. doi: 10.1109/ISDA.2015.7489263.
15. Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б. Ситуационный подход в задачах автоматизации управления техническими объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19, № 9. С. 563–578.
16. Mygal V. P., Mygal G. V., Iliashenko O. Intelligent Decision Support — Cognitive Aspects // Digital Transformation, Cyber Security and Resilience of Modern Societies. Studies in Big Data. 2021. Vol. 84. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65722-2_25.
17. Dzhalogov A. S., Buldakova T. I., Proletarsky A. Socio-Economic Decision Support Module by Unstructured Data // Proceedings of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). St. Petersburg and Moscow, Russia. 2020. P. 1931–1934. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039086.
18. Endsley M. R. The divergence of objective and subjective situation awareness: A meta-analysis // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. 2020. Vol. 14(1). P. 34–53.
19. Lundberg J. Situation awareness systems, states and processes: a holistic framework // Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2015. Vol. 16 (5). P. 447–473. DOI: 10.1080/1463922X.2015.1008601.
20. Fedunov B. E., Simkina N. D. The conceptual model of anthropocentric objects for the onboard tactical intelligence systems // Proc. of the 19-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2017), Germany, Baden-Baden. October 8–10, 2017. Vol. 1. P. 211–214.
21. Федунев Б. Е. Интеллектуальные агенты в базах знаний бортовых оперативно советующих экспертных системах типовых ситуаций функционирования антропоцентрического объекта // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 6. С. 90–102.
22. Suyatinov S. I. Bernstein's Theory of Levels and Its Application for Assessing the Human Operator State // Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT-2019. Studies in Systems, Decision and Control. 2019. Vol. 199. P. 298–312. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_25.
23. Булдакова Т. И., Соколова А. В., Халайджиджи А. К. Мониторинг состояния человека-оператора киберфизической

системы // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2020. № 10. С. 20–27.

24. Beggato M., Krems J. F. The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2013. Vol. 18. P. 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.12.006>.
25. Endsley M. R. Situation Models: An Avenue to the Modeling of Mental Models // Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings. 2000. Vol. 44 (1). P. 61–64. <https://doi.org/10.1177/154193120004400117>.
26. Gauffroy C., Barrouillet P. Heuristic and analytic processes in mental models for conditionals: An integrative developmental theory // Developmental Review. 2009. Vol. 29, Iss. 4. P. 249–282. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.09.002>.
27. Suyatinov S. Biological Principles of Intellectual Motion Control: Models and Implementation Options // XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara, Russia. 2019. P. 187–191. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976497.
28. Litinskii L. B., Malsagov M. Y. The Hopfield-like neural network with governed ground state // BMC Neuroscience. 2013. Vol. 14. P. 257. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-14-S1-P257>.
29. Hillar C. J., Tran N. M. Robust Exponential Memory in Hopfield Networks // The Journal of Mathematical Neuroscience. 2018. Vol. 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s13408-017-0056-2>.
30. Haken H. Synergetic Computers and Cognition—A Top-Down Approach to Neural Nets. Springer, Berlin, Heidelberg. 2004. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-10182-7>.
31. Ma X., Jiao L. An Effective Learning Algorithm of Synergetic Neural Network // Advances in Neural Networks — Lecture Notes in Computer Science. Vol. 3173. Springer, Berlin, Heidelberg. 2004. https://doi.org/10.1007/978-3-540-28647-9_44.
32. Singh R., Yang H., Dalziel B., Asarnow D., Murad W., Foote D., Gormley M., Stillman J., Fisher S. Towards human-computer synergetic analysis of large-scale biological data // BMC Bioinformatics. 2013. Vol. 14 (S10). <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-S14-S10>.
33. Большаков А. А., Кулик А. А. Исследование комплексной системы управления летательного аппарата вертолетного типа при отказах бортового оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20, № 9. С. 568–575.

Synergetic Model of Situational Awareness of a Human Operator in Ergatic Control Systems of Mobile Objects

S. I. Suyatinov, e-mail: ssi@bmstu.ru, T. I. Buldakova, e-mail: buldakova@bmstu.ru,
Yu. A. Vishnevskaya, e-mail: vishne-yulya@yandex.ru,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

Corresponding author: **Buldakova T. I.**, PhD., Faculty of Computer Science and Control Systems of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: buldakova@bmstu.ru

Accepted on March 01, 2022

Abstract

At present, researches of ergatic control systems for moving objects, in which an important role is assigned to the human operator, are of particular relevance. The effectiveness of the functioning of such systems largely depends on the state of the human operator and, first of all, on his situational awareness. Insufficient or inadequate awareness of the operator about the situation in such systems is one of the main factors of accidents associated with human error. Therefore, the task of creating models of professional activity of a human operator, including models of his situational awareness, is urgent. It is shown that situational awareness is based on mental models of a human operator. Their adequacy depends on many subjective characteristics (factors) peculiar to a person, for example, his intelligence, mental state, accumulated experience. Mathematical formalization will reduce the subjective component in the formation of situational awareness. It is noted that important properties of situational awareness of the human operator are associativity and ranking of information depending on the context of the problem being solved. Therefore, situational awareness provides perception of the current situation and allows you to make the right decisions in response to certain threats. The levels of implementation of situational awareness in a human operator are given. A feature of the first level is the need for joint processing of a large amount of heterogeneous information in order to identify significant facts and critical information about external objects. The task of the second level is to form a holistic picture of the situation, which is based on existing knowledge and previous experience. The third, highest level of understanding of the situation is based on the ability of a person to predict the actions of moving objects and the consequences of these actions. It is proposed to form a model of situational awareness based on Haken's synergetic approach. Like most other intelligent systems, the synergetic Haken's model includes learning and recognition processes. A description of the process of recognizing a critical situation using a trained synergetic model is given. The value of the attention parameter, which characterizes the importance of a specific characteristic of the state of the controlled object in the ergatic system, is noted. The associative properties of the synergetic model and its ability to rank the initial information in the process of threat analysis during helicopter control are investigated.

Keywords: ergatic system, situational awareness, situational model, synergetics, situation recognition, attention parameter

References

1. Nosov P. S., Palamarchuk I. V., Zinchenko S. M., Popovich I. S., Nahrybelnyi Ya. A., Nosova H. V. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport, *Bulletin of the Karaganda University. Physics Series*, 2020, no. 1 (97), pp. 58–69.
2. Teryaev E. D., Petrin K. V., Filimonov A. B., Filimonov N. B. Modern problems of automation and intellectualization of ergatic control systems for mobile objects, *Intellectual'nye sistemy upravleniya*, Moscow, Mashinostroenie, 2010, pp. 85–95 (in Russian).
3. Tyrva V. O. Automation of the ergatic system "man-machine" based on the application of anthropomorphic control in it, *Avtomatizatsiya v Promyshlennosti*, 2021, no. 2, pp. 3–7 (in Russian).
4. Sergeev S. F. Neuroadaptive biomorphic interfaces in ergatic systems: problems and solutions, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 9, pp. 599–605 (in Russian).
5. Tyrva V. O., Saushev A. V. On the implementation of combined control actions on an object in man-machine systems, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2020, vol. 21, no. 5, pp. 274–281, doi: 10.17587/mau.21.274-281 (in Russian).
6. Filimonov A. B., Filimonov N. B. Intellectual support of a human operator in ergatic control systems, *Materialy 2-j mezhdunar. konf. "Ergo-2016. Chelovecheskij faktor v slozhnykh tekhnicheskikh sistemah i sredah"*, Saint-Petersburg, 2016, pp. 117–124 (in Russian).
7. Buldakova T. I., Suyatinov S. I. Assessment of the State of Production System Components for Digital Twins Technology, *Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges. Studies in Systems, Decision and Control*, 2020, vol. 259, Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-030-32579-4_20.
8. Merkulov V. I., Mikhnev V. A., Lipatov A. A., Chernov V. S. Features of integration and complex information processing in air-based situational awareness systems, *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2016, no. 6, pp. 3–21 (in Russian).
9. Buldakova T. I., Sokolova A. V. Structuring Information about the State of the Cyber-Physical System Operator, *International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*, Moscow, Russia, 2020, pp. 1–5, doi: 10.1109/Inforino48376.2020.9111654.
10. Zhankaziev S. V., Vorobyov A. I., Vorobyova T. V., Koveshnikov A. A. Providing situational awareness to improve the reliability of the movement of highly automated vehicles, *Nauka i tekhnika v dorozhnoi ottrasli*, 2020, no. 4 (94), pp. 27–29 (in Russian).
11. Shibanov G. P. Assessment of the degree of operator training for controlling an aircraft, *Mekhatronika, avtomatizatsiya i upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 7, pp. 492–495 (in Russian).
12. Anokhin A., Burov S., Parygin D., Rent V., Sadovnikova N., Finogeev A. Development of Scenarios for Modeling the Behavior of People in an Urban Environment, *Society 5.0: Cyberspace for Advanced Human-Centered Society. Studies in Systems, Decision and Control*, 2021, vol. 333, Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-63563-3_9.
13. Bolshakov A. A., Vishtak O. V., Frolov D. A. Methods and algorithms for controlling an interactive computer training system for training nuclear power plant personnel, *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2016, no. 6-2, pp. 234–240 (in Russian).
14. Boukhayma K., ElManouar A. Evaluating decision support systems, *15th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, 2015, pp. 404–408, doi: 10.1109/ISDA.2015.7489263.
15. Filimonov A. B., Filimonov N. B. Situational approach in problems of automation of control of technical objects, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 9, pp. 563–578 (in Russian).
16. V. P., Mygal G. V., Illiashenko O. Intelligent Decision Support — Cognitive Aspects, *Digital Transformation, Cyber Security and Resilience of Modern Societies. Studies in Big Data*, 2021, vol. 84, Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-65722-2_25.
17. Dzhahalov A. S., Buldakova T. I., Proletarsky A. Socio-Economic Decision Support Module by Unstructured Data, *Proceedings of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, St. Petersburg and Moscow, Russia, 2020, pp. 1931–1934. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039086.
18. Endsley M. R. The divergence of objective and subjective situation awareness: A meta-analysis, *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2020, vol. 14(1), pp. 34–53.
19. Lundberg J. Situation awareness systems, states and processes: a holistic framework, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2015, vol. 16 (5), pp. 447–473, doi: 10.1080/1463922X.2015.1008601.
20. Fedunov B. E., Simkina N. D. The conceptual model of anthropocentric objects for the onboard tactical intelligence systems, *Proc. of the 19-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2017)*, Germany, Baden-Baden. October 8-10, 2017, vol. 1, pp. 211–214.
21. Fedunov B. E. Intellectual agents in the knowledge bases of on-board operational consulting expert systems of typical situations of functioning of an anthropocentric object // *Izvestiya RAN. Teoriya i Sistemy Upravleniya*, 2019, no. 6, pp. 90–102 (in Russian).
22. Suyatinov S. I. Bernstein's Theory of Levels and Its Application for Assessing the Human Operator State, *Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT-2019. Studies in Systems, Decision and Control*, 2019, vol. 199, pp. 298–312, https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_25.
23. Buldakova T. I., Sokolova A. V., Khalaidzhi A. K. Monitoring the state of a human operator of a cyber-physical system, *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2: Informatsionnye protsessy i sistemy*, 2020, no. 10, pp. 20–27 (in Russian).
24. Beggiano M., Krems J. F. The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2013, vol. 18, pp. 47–57, https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.12.006.
25. Endsley M. R. Situation Models: An Avenue to the Modeling of Mental Models, *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 2000, vol. 44(1), pp. 61–64, https://doi.org/10.1177/154193120004400117.
26. Gauffroy C., Barrouillet P. Heuristic and analytic processes in mental models for conditionals: An integrative developmental theory, *Developmental Review*, 2009, vol. 29, iss. 4, pp. 249–282, https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.09.002.
27. Suyatinov S. Biological Principles of Intellectual Motion Control: Models and Implementation Options, *XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP)*, Samara, Russia, 2019, pp. 187–191, doi: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976497.
28. Litinskii L. B., Malsagov M. Y. The Hopfield-like neural network with governed ground state, *BMC Neuroscience*, 2013, vol. 14, pp. 257, https://doi.org/10.1186/1471-2202-14-S1-P257.
29. Hillar C. J., Tran N. M. Robust Exponential Memory in Hopfield Networks, *The Journal of Mathematical Neuroscience*, 2018, vol. 8 (1), https://doi.org/10.1186/s13408-017-0056-2.
30. Haken H. Synergetic Computers and Cognition—A Top-Down Approach to Neural Nets, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004, https://doi.org/10.1007/978-3-662-10182-7.
31. Ma X., Jiao L. An Effective Learning Algorithm of Synergetic Neural Network, *Advances in Neural Networks — Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3173, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004, https://doi.org/10.1007/978-3-540-28647-9_44.
32. Singh R., Yang H., Dalziel B., Asarnow D., Murad W., Foote D., Gormley M., Stillman J., Fisher S. Towards human-computer synergetic analysis of large-scale biological data, *BMC Bioinformatics*, 2013, vol. 14 (S10), https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-S14-S10.
33. Bolshakov A. A., Kulik A. A. Investigation of the integrated control system of a helicopter-type aircraft in case of on-board equipment failures, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2019, vol. 20, no. 9, pp. 568–575 (in Russian).