

УДК 519.712.3

Алгоритм поддержки принятия решения оператором радиолокационной станции мониторинга космического пространства в условиях нештатной ситуации на основе гибридной функции

Судаков В. А., Тимошенко А. В., Соколов К. С., Мацевич С. В.

Постановка задачи: современные радиолокационные станции (РЛС) мониторинга космического пространства (МКП) являются сложными техническими человеко-машинными системами. При возникновении различных ситуаций, в том числе нештатных, оператор РЛС обязан передать информацию в вышестоящие органы управления. Воздействие новых деструктивных факторов различной природы на оператора приводят к повышению вероятности выдачи ложной информации в вышестоящие органы управления, что во много обусловлено человеческим фактором и является недопустимым. **Целью работы** является создание математических основ нового инструментария системы поддержки принятия решения оператора РЛС МКП в условиях нештатной ситуации для снижения вероятности передачи ложной информации в вышестоящие органы управления. **Результат:** в работе предложен методический, математический и алгоритмический инструментарий, позволяющий провести многокритериальный анализ нештатной ситуации в условиях деструктивного влияния реального космического фона на характеристики РЛС. Показано, что системы поддержки принятия решения, создаваемые на основе данного инструментария, смогут учитывать большее количество факторов, чем отдельный оператор. **Практическая значимость:** использование в инструментарии гибридной функции предпочтений позволяет проводить мониторинг космического пространства в режиме, приближенном к реальному времени, что позволяет снизить нагрузку на оператора за счёт предоставления ему рекомендательной информации о текущем состоянии РЛС. В перспективе возможно построение иерархии гибридных функций предпочтений, для устранения ошибок, обусловленных человеческим фактором при взаимодействии операторов.

Ключевые слова: поддержка принятия решения, многокритериальный анализ, функция предпочтений, алгоритм.

Введение

Современные радиолокационные станции (РЛС) мониторинга космического пространства (МКП) представляют собой сложную человеко-машинную систему [1], в которой за ограниченное время человек–оператор должен принять правильное решение о сложившейся ситуации и доложить информацию на вышестоящий командный пункт (КП) [2]. Важной частью обработки информации является необходимость формирования эргономичного информационного обеспечения для оператора, контролирующего работу РЛС МКП.

Библиографическая ссылка на статью:

Судаков В. А., Тимошенко А. В., Соколов К. С., Мацевич С. В. Алгоритм поддержки принятия решения оператором радиолокационной станции мониторинга космического пространства в условиях нештатной ситуации на основе гибридной функции // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 4. С. 145-157. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-4-145-157

Reference for citation:

Sudakov V. A., Timoshenko A. V., Sokolov K. S., Matseevich S. V. Algorithm for supporting decision-making by the operator of a space monitoring radar station in an emergency situation based on a hybrid function. *Systems of Control, Communication and Security*, 2024, no. 4, pp. 145-157 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2024-4-145-157

В настоящее время операторы РЛС МКП выполняют свои функциональные задачи в фактически стрессовых условиях, связанных с существенным увеличением количества объектов в околоземном космическом пространстве контролем. Возросшее негативное воздействие реального космического фона [3], а также существенно выросший уровень цифровизации систем РЛС МКП привели к повышению требований, как к техническому состоянию аппаратуры, так и психологическим возможностям операторов, выступающих в качестве лиц, принимающих решения (ЛПР). На рис. 1 показано влияние негативных факторов фоно-целевой обстановки и технического состояния на операторов и эффективность работы РЛС ДО соответственно.



Рис. 1. Влияние негативных факторов фоно-целевой обстановки и технического состояния на операторов РЛС МКП

Оказываемое на ЛПР негативное влияние указанных факторов существенно сказывается на эффективности функционирования РЛС МКП в целом. Существующие графические интерфейсы, от которых ЛПР получают до 90% информации, не в полной мере позволяют точно и своевременно обеспечивать операторов требуемой для принятия необходимых мероприятий по поддержанию требуемых ТТХ информацией [4, 5]. Основным источником информации является система отображения и диалога с оператором, характеризующая текущую такие характеристики работы РЛС [6], как фоно-целевая обстановка (ФЦО), условия функционирования и техническое состояние.

Основным недостатком существующей системы отображения является отсутствие рекомендательной информации в виде графических подсказок, полученной на основе интеллектуального анализа текущего состояния РЛС и формирования оптимальной последовательности действий по результатам вы-

сокоточного и оперативного анализа больших объемов данных в том числе о наиболее значимых деструктивных факторах. В частности, в условиях нештатной ситуации оператор во много полагается на свои знания и умения [7], что в условиях постоянного и высокого напряжения может негативно сказаться [8] на его способности быстро и адекватно проанализировать ситуацию и принять решение.

В условиях важности требований по исключению выдачи ЛПР ложной информации на вышестоящий КП, особенно в условиях нештатной ситуации, с учетом временных ограничений возникает актуальная задача совершенствования системы поддержки операторов РЛС МКП, например, использованием прогнозной информации [9]. Для решения данной задачи является разработка алгоритма формирования рекомендации для принятия многокритериальных решений. Для этого необходимо использовать методы многокритериального анализа.

Метод многокритериального анализа

Методы многокритериального анализа альтернатив успешно применяются в анализе и оценке сложных ситуаций, в том числе для задач оценки вооружений и экономики [10]. Зачастую используются количественные аналитические функции, работающие только с количественными показателями. Наиболее часто применяется на практике метод анализа иерархий. Хотя в работе [11] показано, что он может приводить к ошибочным результатам. Качественные показатели нуждаются в особом подходе. Механический переход к числовым оценкам не всегда допустим.

В процессе создания гибридного метода выявления предпочтений удалось избавиться от перехода к числовым критериям и сохранить высокую чувствительность метода [12]. Он успешно применялся как в задачах оценки космических систем, так и в задачах оценки сложной техники, включая беспилотные летательные аппараты [13].

Таким образом, данный метод обладает возможностью учета как параметров, строго связанных с техническим состоянием систем РЛС МКП, так и параметров, определяемых операторами на основе технических требований и особенностей функционирования систем, их личного опыта, что значительно эффективнее формирования рекомендаций исходя из сухой статистики или сценариев действий в нештатных ситуациях. Он нуждается в адаптации к рассматриваемой задаче.

Рассмотрим пример математической формализации гибридной функции предпочтений для поддержки принятия решения в условиях возникновения нештатной ситуации на РЛС МКП.

Методика определения областей воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи

В пространстве критериев необходимо построить функцию оценивающую оперативную обстановку:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (1)$$

где x_i для $i = \overline{1, n}$ – это показатели, характеризующие текущую ситуацию. Функция f определяет является ли ситуация внештатной. Чем больше ее значение, тем более критичной является ситуация.

Практика показывает [13], что ЛПР, исходя из своих знаний и опыта, легко выделяет области значений характеристик, отображаемых на экране, в том числе:

- 1) с плохой оперативной обстановкой (большое количество активных помех, целей в области наблюдения);
- 2) области удовлетворительной ситуации (штатная работа систем, норма показателей на экране);
- 3) области хорошей оперативной обстановки (нет помех, мало целей, отсутствует неопределённость в определении текущей ситуации) для достаточно небольшого (5-16) количества областей.

Аналогичные задачи во многих сферах деятельности сейчас решаются с использованием машинного обучения [14]. Однако, для использования машинного обучения необходимо большое количество статистических данных. Из-за того, что нештатные ситуации происходят редко, а параметризовать их крайне проблематично, на данный момент нет достаточных наборов данных для того, чтобы можно было применить машинное обучение в поставленной в настоящей работе задаче.

Правила вычисления f основаны на применении процедур взвешенного суммирования. Это приводит к тому, что для больших значений n возникает неявная компенсация одних показателей другими и мы не можем различить опасную ситуацию если ей способствуют только некоторые показатели. Кроме того, может быть и обратная ситуация, когда небольшие шумовые воздействия на некоторые показатели ведут к оценки ситуации как внештатной, когда на самом деле ключевые показатели не вышли на критические уровни.

Для того чтобы исключить такие ситуации, предлагается разбивать пространство показателей на отдельные области опасных, менее опасных и неопасных ситуаций. Для итоговой оценки вводится дискретная шкала:

$$y \in Y, Y = \{0, 1, 2, \dots, N\}. \quad (2)$$

Само пространство исходных показателей разбивается на отдельные непересекающиеся области. Пример разбиения для случая двух показателей показан на рис. 2.

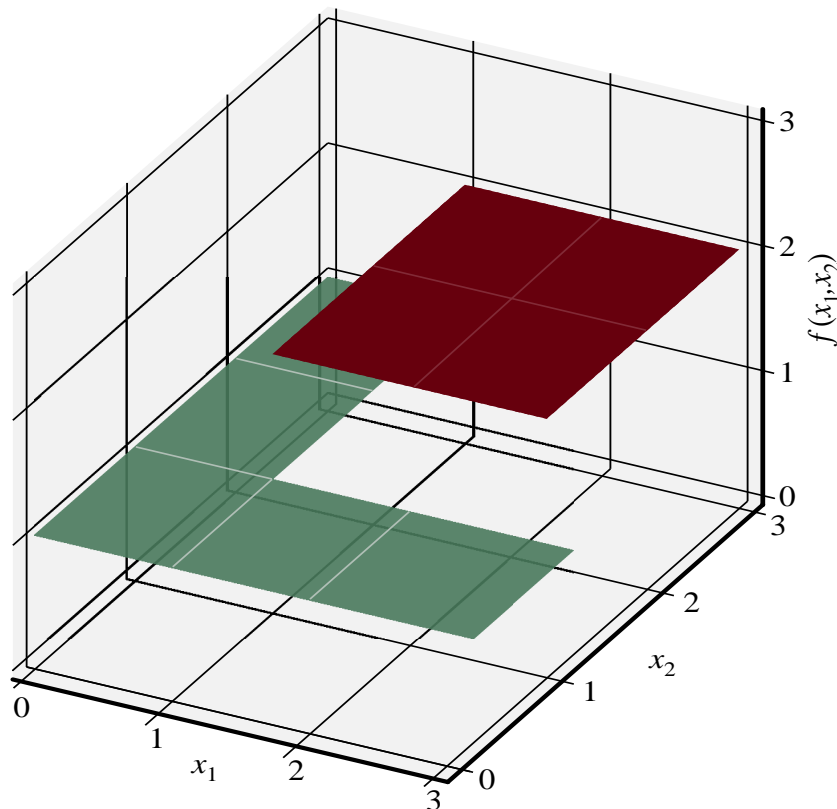


Рис. 2. Области оценки оперативной обстановки

Чтобы провести подобное разбиение нужно дискретизировать шкалы первичных показателей. Для показателя i объявляются градации вида:

$$(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, a_{iv_i}), \quad (3)$$

где a_{ij} – это j -я градация показателя i . В примере на рис. 2 для первого показателя первая градация представляет собой отрезок $[0, 1)$, вторая градация $(1, 2]$ и так далее. v_i – это мощность множества градаций. Подобный подход позволяет учесть и качественные оценки показателей, например, $a_{i1} = \text{«хорошо»}$, $a_{i2} = \text{«удовлетворительно»}$. a_{ij} не образуют матрицы, так как число элементов в строках v_i может быть разным.

Градации должны быть упорядочены по степени их опасности. Приоритеты указываются с помощью знака доминирования:

$$a_{i1} \prec a_{i2} \prec a_{i3} \prec \dots \prec a_{iv_i}. \quad (4)$$

Для задач малой размерности можно оценить все комбинации значений градаций напрямую. Назовем такие комбинации значений ячейками. Так делалось в системе поддержки принятия решений DSS/UTES [15]. Общее число оцениваемых ячеек определяется как произведение числа градаций:

$$V = \prod_{i=1}^n v_i. \quad (5)$$

Число V может быть велико как за счет большого числа показателей n , так и за счет большого числа для некоторых критериев v_i . Кроме того, приходится сталкиваться с проблемой необходимостью различать большое число ячеек. Если ЛПП сопоставляет все ячейки, то для их оценки нужна шкала с $N \cong V$ градациями. Различать их при проведении процедуры оценивания затруднительно.

Однако в практических задачах такая точность и не требуется. ЛППР может сам управлять точностью, определяя размер областей таким как ему требуется.

Любая область может быть задана предикатом, определяющим принадлежность точки в пространстве показателей заданной области O_q :

$$(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in O_q \doteq O_q(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \bigvee_{k \in K_q} \bigwedge_{i=1}^n \bigvee_{j \in J_{ik}} x_i \in a_{ij}. \quad (6)$$

Таким образом O_q определяется множеством номеров прямоугольных областей K_q . В каждой прямоугольной области k необходимо задать номера градаций j по каждому показателю i . Эти номера образуют множество J_{jk}

Отдельная ячейка пространства показателей – это частный случай области, где $|K_q| = 1$ и $|J_{jk}| = 1$.

Алгоритм построения решающего правила f заключается в разбиении всего пространства показателей на непересекающиеся области O_q и назначения каждой области значения, оценивающего оперативную обстановку из шкалы Y .

Возможны два варианта организации интерфейса пользователя:

1. Показывать визуально пространство показателей как показано на рис. 2. Если показателей более 2-х, то показывать по 2 показателя, а значения остальных фиксировать. Таким образом фиксируется двумерное сечение. Пользователь выделяет мышью область и переходит на следящее, меняя значение фиксированных показателей и там продолжает выделение областей.
2. Давать возможность пользователю указывать логические условия принадлежности требуемой области в табличном интерфейсе.

Первый вариант интерфейса более нагляден для ЛППР, но второй интерфейс может быть проще если приходится анализировать много (более 4) показателей.

Введенные области проверяются на отсутствие пересечений по формуле:

$$\forall x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, q_1, q_2 \left(O_{q_1}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \wedge (q_1 \neq q_2) \rightarrow \overline{O_{q_2}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \right). \quad (7)$$

Области, введенные пользователем, могут не покрывать все пространство показателей. В этом случае его необходимо дополнить, так чтобы выполнялось условие покрытия:

$$\forall x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \exists q O_q(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n). \quad (8)$$

Это условие можно выполнить, автоматически дополнив множество областей всеми ячейками, где неопределенно значение функции $y \in Y$.

Возникает вопрос можно ли определить уровень предпочтений в этих ячейках автоматически. Иногда это возможно с использованием оптимальности по Парето:

$$\forall k_1 \in K_{q_1}, k_2 \in K_{q_2} \left[\forall i \left(\max_{j \in J_{ik_1}} j \leq \min_{j \in J_{ik_2}} j \right) \wedge \exists i \left(\max_{j \in J_{ik_1}} j < \min_{j \in J_{ik_2}} j \right) \right] \rightarrow (O_{q_1} < O_{q_2}). \quad (9)$$

Данная формула показывает условие, когда область q_2 приоритетней области q_1 . В формуле используется тот факт, что градации упорядочены в порядке увеличения приоритета, поэтому любая прямоугольная подобласть q_3 должна иметь значения по всем показателям не хуже, чем любая из подобластей q_1 . И такое условие проверяется по всем показателям i .

По условию оптимальности по Парето может оказаться две области несравнимы. Это может быть в случае, если по одному показателю одна область приоритетней, а по другому показателю другая область. Но в такой ситуации можно воспользоваться качественными приоритетами показателей.

Пусть все показатели упорядочены по предпочтительности. То есть показатель с первым номером имеет наименьший приоритет, а показатель с номером n имеет наивысший приоритет. Тогда можно вывести следующее дополнительное правило приоритета между областями:

$$\begin{aligned} & \forall k_1 \in K_{q_1}, k_2 \in K_{q_2} \exists i_1, i_2, \\ & \left[(i_1 < i_2) \wedge \left(\max_{j \in J_{i_2 k_1}} j < \min_{j \in J_{i_2 k_2}} j \right) \wedge \left(\max_{j \in J_{i_1 k_2}} j < \min_{j \in J_{i_1 k_1}} j \right) \wedge \right. \\ & \left. \forall (i \neq i_1) \left(\max_{j \in J_{i k_1}} j < \min_{j \in J_{i k_2}} j \right) \right] \rightarrow (O_{q_1} \prec O_{q_2}). \end{aligned} \quad (10)$$

Данное правило говорит о том, что, если даже по показателю i_1 одна область q_1 лучше, но у области q_2 есть более приоритетный показатель i_2 , по которому q_2 лучше, то в целом следует отдать приоритет области q_2 .

Полученные отношения предпочтительности позволяют построить ориентированный граф доминирования между всеми областями. В нем вершины – это области, а дуги – отношения доминирования, полученные на основании вышеуказанных правил и суждений пользователя. Его следует «разобрать» на отдельные уровни предпочтений R с помощью следующего алгоритма [16]:

1. $S \leftarrow$ число вершин в графе.
2. Если в графе нет вершин, то переход на шаг 8.
3. Найти в графе недоминируемые области – это вершины графа, у которых полустепень входа равна нулю.
4. Присвоить найденным областям ранг R .
5. Удалить из графа вершины, которым присвоен ранг и инцидентные им ребра.
6. $S \leftarrow S - 1$.
7. Переход на шаг 2.
8. Уменьшить ранги для всех вершин на S .

Таким образом все области будут пронумерованы от числа S_{max} – максимального ранга для области наивысшего приоритета до 1. Введем обозначение $R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ – это функция возвращающая значение ранг соответствующей области такой O_q , что $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in O_q$. $R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ определена однозначно, так как области не пересекаются.

Для повышения чувствительности оценки к небольшим изменениям входным показателей в итоговую оценку $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ добавляется взвешенная сумма показателей:

$$W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n w_i x_i^n, \quad (11)$$

где w_i – это вес(важность) соответствующего показателя, причем $\sum w_i = 1$, x_i^n – это нормированные от 0 до 1 значения показателей.

В результате итоговая оценка оперативной обстановки будет вычисляться по следующей формуле:

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n). \quad (12)$$

Таким образом целая часть значения функции соответствует номеру области, а дробная часть взвешенному приоритету значений показателей. Значение данной гибридной функции предпочтений – это интегральная оценка нештатной ситуации.

Практическая значимость и дальнейшие исследования

Предложенный алгоритм может быть применен в различных сценариях, в том числе и при проведении занятий на учебно-тренировочных системах (УТС). Поскольку операторы РЛС должны постоянно поддерживать высокий уровень своих профессиональных навыков, проведение тренировочных занятий является частью их работы. Поскольку УТС полностью дублируют реальные рабочие места операторов, но не могут повлиять на работоспособность РЛС, их можно использовать для проведения экспериментов.

В частности, при выполнении задач на УТС, операторы выполняют строго регламентированные последовательности действий, соответствующие проводимым тренировкам. С помощью них может быть набрана соответствующая статистика, и в дальнейшем получено распределение предпочтительных действий самих операторов, так и тех, что строго соответствуют регламенту тренировок.

Поскольку работа операторов осуществляется в реальном времени, может быть набрана динамика происшествий и нештатных ситуаций, которая может дополнить алгоритм поддержки принятия решения. Для этого планируется сбор временных рядов данных технического состояния подсистем РЛС для анализа и обработки с целью формирования динамической модели алгоритма поддержки принятия решения.

Кроме того, для решения задачи минимизации времени и вероятности ошибки ЛПР предлагается использование модуля системы поддержки и принятия решения (СППР), предназначенного для формирования вспомогательной информации с целью сокращения времени, необходимого на анализ и принятие решения, а также снижения вероятности допущения ошибки ЛПР. Основными компонентами модуля СППР являются:

- 1) алгоритм, выполняющий анализ данных ТС, ФЦО и ПКП, и прогнозирование нештатных ситуаций на заданном горизонте прогноза на основе базы знаний и базы данных, накопленных за время эксплуатации станции;
- 2) алгоритм, формирующий рекомендации на основе построения дерева решений – оптимальной последовательности действий ЛПР (минимум времени и ошибок);

- 3) алгоритм, осуществляющий взаимодействие ИМ с ЛПР через графический интерфейс с целью представления данных прогноза и Рекомендаций;
- 4) программа ввода и вывода информации для оператора через систему отображения;
- 5) БД нештатных ситуаций и БЗ, заполняемую в ходе эксплуатации РЛС.

Поскольку в состав модуля входят база знаний, эргономичный и удобный интерфейс, а главное – механизм формирования и вывода решений, представленный алгоритмами, то данный модуль является интеллектуальным модулем (ИМ) СППР.

Выводы

С целью снижения вероятности сообщения ложной информации разработаны методические основы для создания инструментария системы поддержки принятия решения операторов на основе гибридной функции предпочтений. Показано, что СППР, создаваемые на основе данного инструментария, смогут учитывать большое количество факторов, чем отдельный оператор. В перспективе возможно построение иерархии гибридных функций предпочтений, для устранения ошибок, обусловленных человеческим фактором при взаимодействии операторов.

Показано, что гибридная функция предпочтений позволяет проводить мониторинг космического пространства в режиме, приближенном к реальному времени, что позволит снизить нагрузку на ЛПР за счёт предоставления ему рекомендательной информации о текущем состоянии РЛС.

В качестве дальнейших исследований планируется проведение эксперимента для проверки эффективности применения алгоритма поддержки принятия решения операторами РЛС.

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 24-Ш01-04.

Литература

1. Боев С. Ф., Рахманов А. А., Линкевичиус А. П., Якубовский С. В., Володин П. В. Создание и эксплуатация радиолокационных станций дальнего обнаружения // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 5. С. 35-48. doi: 10.21778/2218-5453-2020-5-35-48.
2. Важнейший элемент ВКО // Воздушно-космическая оборона [Электронный ресурс]. 11.04.2013. – URL: <http://www.vko.ru/konceptcii/vazhneyshiy-element-vko> (дата обращения 16.10.2024).
3. Вениаминов С. С., Червонов А. М. Космический мусор - угроза человечеству. – М.: Издательство ИКИ РАН, 2012. – 192 с.
4. Зюзина А. Д., Мацеевич С. В., Воронин А. С., Мочалов М. Н. Современные системы визуализации текущей обстановки в ЗРК «Пэтриот» и

интегрированной системе боевого управления ИВКС // Вестник Воздушно-космической обороны. 2023. № 4 (40). С. 119-126.

5. Мацеевич С. В., Владко У. А., Зюзина А. Д., Мочалов М. Н., Захаров А. С. Применение показателя когнитивной нагрузки графического элемента для обоснования требований к системе визуализации РЛС дальнего обнаружения // Научная визуализация. 2024. № 16 (3). С. 87-96. DOI: 10.26583/sv.16.3.09

6. Душков Б. А., Королев А. В., Смирнов Б. А. Основы инженерной психологии: Учебник для вузов. – М.: Издательство «Академический Проект», 2020. – 574 с.

7. Справочник офицера воздушно-космической обороны / под ред. профессора С. К. Бурмистрова. – Тверь: ВА ВКО, 2005. – 564 с.

8. Зыков Н. В., Игнатова О. А., Торшенков А. И. Особенности применения технологий визуализации и представления данных для информационного обеспечения процесса управления полётами космических аппаратов // Космонавтика и ракетостроение. 2013. № 2 (71). С. 98-105.

9. Перлов А. Ю., Мацеевич С. В., Тимошенко А. В., Панкратов В. А. Алгоритм повышения точности прогнозирования отказов аппаратуры РЭК на основе управления частотой опроса датчиков контроля технического состояния // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 1. С. 26-42. doi: 10.24412/2410-9916-2024-1-026-042

10. Буравлев А. И., Буренок В. М. Методические основы обоснования количественных параметров вооруженных сил по критерию «эффективность-стоимость» // Вооружение и экономика. 2014. № 4 (29). С. 73-92.

11. Подиновский В. В., Подиновская О. В. О некорректности метода анализа иерархий // Проблемы управления. 2011. № 1. С. 8-13.

12. Осипов В. П., Судаков В. А. Комбинированный метод поддержки принятия многокритериальных решений // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2015. № 30. С. 21. – URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-30>.

13. Нестеров В. А., Судаков В. А., Обносков Б. В. Многокритериальная оценка военной техники с использованием гибридной функции предпочтений на примере беспилотных летательных аппаратов // Вооружение и экономика. 2015. № 4 (33). С. 55-66.

14. Баданина Н. Д., Зинченко А. А., Судаков В. А. Ранжирование объектов на основе нечеткой кластеризации // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2022. № 68. С. 12. – URL: <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-68>.

15. Ескин В. И., Судаков В. А. Автоматизированная поддержка решений с использованием гибридной функции предпочтений // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2014. № 3 (96). С. 116-124.

16. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник. – М.: Логос. 2000. – 296 с.

References

1. Boev S. F., Rakhmanov A. A., Linkevichius A. P., Yakubovsky S. V., Volodin P. V. Creation and Operation of Long-range Radar Stations. *Questions of radio-electronics*, 2020, no. 5, pp. 35–48. doi: 10.21778/2218-5453-2020-5-35-48 (in Russian).
2. Vazhnejshij element VKO [The most important element of aerospace defense]. *Vozdushno-kosmicheskaya oborona* [Aerospace Defense]. 11.04.2013. Available at: <http://www.vko.ru/koncepcii/vazhneyshiy-element-vko> (accessed 16.10.2024) (in Russian).
3. Veniaminov S. S., Chervonov A. M. *Space Debris – a Threat to Humanity*. Moscow, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences Publ., 2012. 192 p. (in Russian).
4. Zyuzina A. D., Matseevich S. V., Voronin A. S., Mochalov M. N. Sovremennye sistemy vizualizacii tekushchej obstanovki v ZRK «Patriot» i integrirovannoj sisteme boevogo upravleniya IBCS [Modern Systems for Visualizing the Current Situation in the Patriot Air Defense Missile System and the Integrated Combat Control System IBCS]. *Bulletin of Air and Space Defense*, 2023, vol. 42, no. 4, pp. 119-126 (in Russian).
5. Matseevich S. V., Vladko U. A., Zyuzina A. D., Mochalov M. N., Zakharov A. S. Application of the Cognitive Load Indicator of a Graphic Element to Justify the Requirements for an Early Warning Radar Visualization System. *Scientific Visualization*, 2024, vol. 3, no. 16, pp. 87–96. doi: 10.26583/sv.16.3.09 (in Russian).
6. Dushkov B. A., Korolev A. V., Smirnov B. A. *Osnovy inzhenernoj psihologii* [Fundamentals of Engineering Psychology]. Moscow, Academic Project Publ., 2020. 574 p. (in Russian).
7. Burmistrov S. K. *Spravochnik oficera vozdushno-kosmicheskoy oborony* [Handbook of the Aerospace Defense Officer]. Tver, Zhukov Air and Space Defence Academy Publ., 2005. 564 p. (in Russian).
8. Zykov N. V., Ignatova O. A., Torshenkov A. I. Osobennosti primeneniya tekhnologij vizualizacii i predstavleniya dannyh dlya informacionnogo obespecheniya processa upravleniya polyotami kosmicheskikh apparatov [Features of the Application of Data Visualization and Presentation Technologies for Information Support of the Spacecraft Flight Control Process]. *Cosmonautics and Rocket Science*, 2013, vol. 71, no. 2, pp. 98 (in Russian).
9. Masteevich S. V., Timoshenko A. V., Perlov A. Y., Pankratov V. A. Algorithm for Increasing the Accuracy of Predicting Failures of Radar Equipment Based on Controlling the Polling Frequency of Technical Condition Monitoring Sensors. *Systems of Control, Communication and Security*, 2024, no. 1, pp. 26-42. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-1-026-042 (in Russian).
10. Buravlev A. I., Burenok V. M. Metodicheskie osnovy obosnovaniya kolichestvennyh parametrov vooruzhennyh sil po kriteriyu «effektivnost'-stoimost'» [Methodological Foundations for Substantiating Quantitative Parameters of the Armed Forces Based on the "Efficiency-cost" Criterion]. *Armament and Economics*, 2014, vol. 29, no. 4, pp. 73-92 (in Russian).

11. Podinovsky V. V., Podinovskaya O. V. O nekorrektnosti metoda analiza ierarhij [On the Incorrectness of the Hierarchy Process Analysis Method]. *Problems of Management*, 2011, no. 1, pp. 8-13 (in Russian).

12. Osipov V. P., Sudakov V. A. Kombinirovannyj metod podderzhki prinyatiya mnogokriterial'nyh reshenii [Combined Method for Supporting Multicriteria Decision-making]. *Preprints of the Keldysh Institute of Applied Mathematics*, 2015, no. 30, 21 p. Available at: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-30> (in Russian).

13. Nesterov V. A., Sudakov V. A., Obnosov B. V. Mnogokriterial'naya ocenka voennoj tekhniki s ispol'zovaniem gibridnoj funkicii predpochtenij na primere bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Multicriteria Assessment of Military Equipment Using a Hybrid Preference Function on the Example of Unmanned Aerial Vehicles]. *Armament and Economics*, 2015, vol. 33, no. 4, pp. 55-66 (in Russian).

14. Badanina N. D., Zinchenko A. A., Sudakov V. A. Ranking of objects based on fuzzy clustering. *Preprints of the Keldysh Institute of Problems of Management*, 2022, no. 68, 12 p. Available at: <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-68> (in Russian).

15. Yeskin V. I., Sudakov V. A. Avtomatizirovannaya podderzhka reshenij s ispol'zovaniem gibridnoj funkicii predpochtenij [Automated Decision Support Using a Hybrid Preference Function]. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*, 2014, vol. 96, no. 3, pp. 116-124 (in Russian).

16. Larichev O. I. *Teoriya i metody prinyatiya reshenij, a takzhe hronika sobytij v volshebnyh stranah* [Theory and Methods of Decision Making, as well as a Chronicle of Events in the Magic Lands]. Moscow, Logos Publ., 2000. 296 p. (in Russian).

Статья поступила 25 сентября 2024 г.

Информация об авторах

Судаков Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент. Ведущий научный сотрудник. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук. Область научных интересов: алгоритмы поддержки принятия решения; управление разработкой программного обеспечения. E-mail: sudakov@ws-dss.com

Тимошенко Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор. Старший преподаватель кафедры Воздушно-космических сил Военно-учебного центра. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов: интеллектуальные системы мониторинга; радиолокация. E-mail: u567ku78@gmail.com

Соколов Константин Сергеевич – кандидат технических наук. Начальник научно-тематического центра. АО «Научно-производственное объединение дальней радиолокации им. академика А.Л. Минца». Область научных интересов: автоматизация управления; машинное обучение; нейронные сети. E-mail: ksokolov@npodr.ru

Мацеевич Сергей Вячеславович – соискатель ученой степени кандидата физико-математических наук. Лаборант факультета космических исследований.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов: системы визуализации информации; машинное обучение; нейронные сети. E-mail: cvmac@mail.ru

Адрес: 119991, Россия, г. Москва, ул. Колмогорова, д. 1

Algorithm for supporting decision-making by the operator of a space monitoring radar station in an emergency situation based on a hybrid function

V. A. Sudakov, A. V. Timoshenko, K. S. Sokolov, S. V. Matseevich

Purpose. *Statement of the problem: modern space monitoring radar stations are complex technical human-machine systems. In various situations, including abnormal ones, the radar operator is obliged to transmit information to higher management bodies. The impact of new destructive factors of various nature on the operator leads to an increase in the probability of issuing false information to higher management bodies, which is largely due to the human factor and is unacceptable. The objective of the work is to develop the mathematical foundations of a new toolkit for a decision support system for an MCP radar operator in an abnormal situation in order to reduce the probability of transmitting false information to higher management bodies. Result: the work proposes a methodological, mathematical and algorithmic toolkit that allows for a multi-criteria analysis of an abnormal situation under the conditions of the destructive influence of the real cosmic background on the radar characteristics. It is shown that decision support systems created on the basis of this toolkit will be able to take into account a greater number of factors than an individual operator. Practical relevance: the use of a hybrid preference function in the toolkit allows space monitoring to be performed in a mode close to real time, which reduces the operator's workload by providing him with advisory information on the current state of the radar. In the future, it will be possible to build a hierarchy of hybrid preference functions to eliminate errors caused by the human factor in the interaction of operators.*

Key words: *decision support, multicriteria analysis, preference function, algorithm.*

Information about Authors

Vladimir Anatolyevich Sudakov – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor. Leading Researcher. Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences. Research interests: decision support algorithms; software development management. E-mail: sudakov@ws-dss.com

Alexander Vasilievich Timoshenko – Doctor of Engineering Sciences, Professor. Senior Lecturer at the Department of Aerospace Forces of Military Training Center. Lomonosov Moscow State University. Research interests: intelligent monitoring systems; radar. E-mail: u567ku78@gmail.com

Konstantin Sergeevich Sokolov – Ph.D. of Engineering Sciences. Head of the Scientific and Thematic Center. JSC “Scientific and Production Association of Long-Range Radar named after academician A.L. Mints”. Research interests: control automation; machine learning; neural networks. E-mail: ksokolov@npodr.ru

Sergey Vyacheslavovich Matseevich – Doctoral Student. Laboratory assistant at the Space Research Department. Moscow State University. Research interests: information visualization systems; machine learning; neural networks. E-mail: cvmac@mail.ru

Address: 119991, Russia, Moscow, st. Kolmogorova, 1.