

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНОГО ТЕХНОГЕННОГО ОБЪЕКТА
ОРБИТАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ МОНИТОРИНГА
ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА****В. Н. Арсеньев, Е. В. Слатова, А. А. Ядренкин***Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Россия**vka@mil.ru*

Аннотация. Рассматривается задача выбора опасных техногенных объектов из множества наблюдаемых космическим аппаратом мониторинга околоземного космического пространства. Предложен подход, позволяющий принять решение в общем случае, когда число серий наблюдений за заданной областью больше одного. При этом состав частных селективных признаков различных объектов и количество их измерений в различных условиях наблюдений могут различаться. Принимаемое решение обеспечивает максимум средней апостериорной вероятности того, что выбранный наблюдаемый объект является наиболее опасным.

Ключевые слова: околоземное космическое пространство, космический аппарат мониторинга, техногенные космические объекты, селективные признаки, интегральный признак

Ссылка для цитирования: Арсеньев В. Н., Слатова Е. В., Ядренкин А. А. Определение опасного техногенного объекта орбитальными средствами мониторинга околоземного космического пространства // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 12. С. 1010–1018. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-12-1010-1018.

**IDENTIFICATION OF A DANGEROUS TECHNOGENIC OBJECT BY ORBITAL NEAR-EARTH SPACE
MONITORING MEANS****V. N. Arseniev, E. V. Slatova, A. A. Yadrenkin***A. F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia**vka@mil.ru*

Abstract. The problem of selecting dangerous man-made objects from a set of those observed by a spacecraft monitoring near-Earth space is considered. An approach is proposed that allows making a decision in the general case when the number of series of observations for a given area is more than one. In this case, the composition of private selective features of various objects and the number of their measurements under different observation conditions may differ. The decision made ensures the maximum of the average a posteriori probability that the selected observed object is the most dangerous.

Keywords: near-earth space, space monitoring apparatus, man-made space objects, selective features, integral feature

For citation: Arseniev V. N., Slatova E. V., Yadrenkin A. A. Identification of a dangerous technogenic object by orbital near-earth space monitoring means. *Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 12. P. 1010–1018 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-12-1010-1018.

Введение. В околоземном космическом пространстве (ОКП) находится большое количество космического мусора, состоящего из отработавших элементов средств выведения, разгонных блоков, космических аппаратов, образовавшихся в результате столкновений их фрагментов [1]. Он представляет большую опасность для функционирующих орбитальных средств (космических аппаратов, станций и т. д.). Используемые для наблюдения за обстановкой в верхних слоях атмосферы наземные средства не позволяют предотвратить столкновения космических аппаратов с элементами космического мусора [2]. В связи с этим разрабатывается космическая система, включающая специальные космические аппараты мониторинга (КАМ) околоземного космического пространства [3]. На борту КАМ предполагается использовать различные средства наблюдения (оптико-электронные, радиолокационные и др.), позволяющие

измерять значения некоторых частных селективных признаков, характеризующих наблюдаемые космические объекты [4]. Для формирования единого классификатора опасных ситуаций каждый КАМ осуществляет обзор заданных областей космического пространства, в которых могут находиться опасные техногенные объекты (ОТО), представляющие наибольшую угрозу орбитальным средствам [5]. Поскольку в наблюдаемой КАМ области могут находиться не только ОТО, но и другие космические объекты (КО), то возникает необходимость выбора ОТО из множества наблюдаемых [6]. При этом селективные признаки, характеризующие ОТО, полагаются известными.

Для решения задачи выбора с помощью бортовых средств наблюдения КАМ измеряются значения различных по физической природе частных селективных признаков, характеризующих наблюдаемые объекты и содержащих координатную и некоординатную информацию о них [7]. В ряде случаев через короткие промежутки времени возможно провести несколько серий наблюдений за интересующей областью, в процессе которых удастся измерить значения совокупностей признаков, характеризующих одни и те же КО в различные моменты времени. Учет этих особенностей усложняет процесс решения задачи выбора ОТО.

Достаточно подробный анализ методов решения рассматриваемой задачи приведен в работе [8]. Следует отметить основные особенности этих методов, в ряде случаев ограничивающие область их применения. Они связаны главным образом с использованием только одного типа информации (координатной или некоординатной) либо с необходимостью использования для их реализации дополнительных космических средств, либо с требованиями наличия достаточно большого объема измерительной и(или) априорной информации о наблюдаемых объектах, а также времени для накопления и обработки данных, либо с необходимостью получения одинаковых объемов измерительной информации о частных признаках всех наблюдаемых КО, что не всегда можно обеспечить на практике.

Таким образом, одной из актуальных задач отработки технологий дистанционного обследования КО является совершенствование методов выбора опасных техногенных объектов из множества наблюдаемых КАМ.

Постановка задачи. Космический аппарат мониторинга ведет наблюдение за некоторой областью околоземного космического пространства, в которой находятся R космических объектов. Среди них имеется опасный техногенный объект, представляющий угрозу функционирующим в его окрестности орбитальным средствам.

Частные селективные признаки X_i , $i = \overline{1, n}$, характеризующие наблюдаемые объекты, являются независимыми случайными величинами, распределенными по нормальному закону, причем известны дисперсии D_{x_i} , $i = \overline{1, n}$, погрешностей измерений частных признаков бортовыми средствами наблюдения. Математические ожидания погрешностей измерений равны нулю*.

Известны значения $x_{\text{ОТО}_i}$, $i = \overline{1, n}$ частных селективных признаков, характеризующих ОТО.

В дискретные моменты времени t_s , $s = \overline{1, S}$, лежащие в пределах некоторого непродолжительного интервала времени наблюдения (в течение которого космические объекты, находящиеся в интересующей КАМ области околоземного космического пространства, существенно не изменяют свое положение относительно друг друга в плоскости, перпендикулярной линии визирования), КАМ провел S независимых серий измерений частных селективных признаков наблюдаемых объектов. Результаты измерений признаков r -го объекта в s -й серии измерений представлены множеством

$$\mathbf{X}_{rs} = \left\{ x_{ij}^{(rs)}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, N_i^{(rs)}} \right\}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R},$$

где $x_{ij}^{(rs)}$ — значение i -го признака X_i r -го объекта, полученное при его j -м измерении в s -й серии; $N_i^{(rs)} \geq 0$ — число измерений i -го признака r -го объекта в s -й серии измерений.

* Случайные величины для отличия от детерминированных обозначаются прописными буквами.

Если в какой-то серии измерений не удалось определить ни одного частного признака наблюдаемого объекта, то он считается ненаблюдаемым в данной серии и вероятность того, что он является ОТО, принимается равной нулю.

Необходимо из множества КО, наблюдаемых КАМ в дискретные моменты времени $t_s, s = \overline{1, S}$, определить объект, представляющий наибольшую угрозу функционирующему в его окрестности КА.

Определение апостериорных вероятностей гипотез об ОТО. Рассматриваются гипотезы H_r , состоящие в предположении, что r -й наблюдаемый объект наиболее опасен, $r = \overline{1, R}$.

Вероятности этих гипотез в общем случае будут зависеть от объема и качества измерительной информации о селективных признаках наблюдаемых объектов, полученной в различные моменты времени наблюдения.

Для определения апостериорных вероятностей гипотез $H_r, r = \overline{1, R}$, в соответствии с известной методикой [9] определяются безразмерные интегральные признаки, характеризующие космические объекты, находящиеся в области ОКП, наблюдаемой КАМ, по формуле:

$$w_{rs} = \sum_{i=1}^n a_i^{(rs)} \sum_{j=1}^{N_i^{(rs)}} x_{ij}^{(rs)}, \quad (1)$$

где $a_i^{(rs)}$ — неизвестные коэффициенты, размерности которых являются обратными к размерностям соответствующих признаков, т. е. $[a_i^{(rs)}] = \frac{1}{[X_i]}$; $x_{ij}^{(rs)} \in \mathbf{X}_{rs}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}$.

При подстановке в правую часть формулы (1) известных селективных признаков ОТО $x_{\text{ОТО},i}, i = \overline{1, n}$, вместо измеренных значений $x_{ij}^{(rs)} \in \mathbf{X}_{rs}$ можно получить соответствующие им значения интегральных признаков для всех наблюдаемых объектов

$$w_{\text{ОТО},rs} = \sum_{i=1}^n a_i^{(rs)} N_i^{(rs)}, x_{\text{ОТО},i}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}.$$

Около этих значений будут располагаться значения (реализации) интегральных признаков, полученные по формуле (1). Однако из-за возможных различий в количестве измерений селективных признаков наблюдаемых объектов значения $w_{\text{ОТО},rs}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}$, в общем случае также будут отличаться, что, в свою очередь, затруднит решение задачи выбора наиболее опасного техногенного объекта. В связи с этим предлагается коэффициенты модели (1) для различных наблюдаемых объектов определять таким образом, чтобы выполнялись условия

$$w_{\text{ОТО},rs} = w_{\text{ОТО}}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R},$$

или

$$\sum_{i=1}^n a_i^{(rs)} N_i^{(rs)} x_{\text{ОТО},i} = w_{\text{ОТО}}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}. \quad (2)$$

В зависимости от исходных данных (D_{x_i} и $x_{\text{ОТО},i}, i = \overline{1, n}$) в качестве $w_{\text{ОТО}}$ можно взять некоторое число, отличное от нуля и удобное для представления результатов последующих расчетов. Это обусловлено тем, что, во-первых, из приведенных ниже формул видно, что величина $w_{\text{ОТО}}$ одинаково влияет на значения и дисперсии интегральных признаков всех космических объектов, попавших в области наблюдения КАМ в различные моменты времени, а во-вторых, такой подход к определению коэффициентов моделей позволяет группировать реализации интегральных признаков относительно одного центра рассеивания.

Согласно формуле (1), дисперсии интегральных признаков определяются выражением

$$D_{w_{rs}} = \sum_{i=1}^n \left(a_i^{(rs)} \right)^2 \sum_{j=1}^{N_i^{(rs)}} D_{x_i} = \sum_{i=1}^n \left(a_i^{(rs)} \right)^2 N_i^{(rs)} D_{x_i}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}. \quad (3)$$

Тогда коэффициенты модели (1) для космических объектов, наблюдаемых КАМ в различные моменты времени, находятся из условия минимума дисперсий $D_{w_{rs}}$ при ограничениях, заданных уравнениями (2). Они имеют вид:

$$a_i^{(rs)} = \frac{w_{OTO} x_{OTO_i}}{D_{x_i} \sum_{k=1}^n \frac{x_{OTO_k}^2 N_k^{(rs)}}{D_{x_k}}}, i = \overline{1, n}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}. \quad (4)$$

Подстановка полученных коэффициентов в правые части выражений (1) и (3) позволяет найти формулы для определения значений и дисперсий интегральных признаков всех наблюдаемых в различные моменты времени объектов:

$$w_{rs} = \frac{w_{OTO}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_{OTO_i}^2 N_i^{(rs)}}{D_{x_i}}} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{N_i^{(rs)}} x_{ij}^{(rs)} \right), s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}; \quad (5)$$

$$D_{w_{rs}} = \frac{w_{OTO}^2}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{x_{OTO_i}^2 N_i^{(rs)}}{D_{x_i}} \right)^2} \sum_{i=1}^n \frac{x_{OTO_i}^2 N_i^{(rs)}}{D_{x_i}} = \frac{w_{OTO}^2}{\sum_{i=1}^n \frac{x_{OTO_i}^2 N_i^{(rs)}}{D_{x_i}}}, s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}. \quad (6)$$

Из последней формулы видно: чем больше для i -го частного признака отношение $\frac{x_{OTO_i}^2}{D_{x_i}}$ (т. е. чем больше значение самого признака и меньше погрешность его измерения), тем сильнее влияет увеличение числа измерений $N_i^{(rs)}$ этого признака на уменьшение дисперсии $D_{w_{rs}}$ интегрального показателя. Отмеченное обстоятельство позволяет целенаправленно управлять процессом измерений частных селективных признаков с целью повышения вероятности выбора ОКО.

Значения и дисперсии интегральных признаков наблюдаемых объектов, найденные по формулам (5) и (6), позволяют определить расчетные вероятности $P_s(H_r)$ гипотез и условные вероятности $P_s(w_{rs}/H_r)$, характеризующие удаленность значений интегральных признаков наблюдаемых объектов, полученных по результатам измерений, от признака w_{OTO} наиболее опасного техногенного объекта ($s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}$).

Обобщая частные результаты, полученные в работе [9], на случай нескольких серий наблюдений, приведем конечные выражения для определения этих вероятностей.

Расчетная вероятность гипотезы H_r вычисляется по формуле

$$P_s(H_r) = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^R \frac{1}{P_{srk}} - R + 2}, \quad (7)$$

где $P_{srk} = \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{D_{w_{ks}}}{D_{w_{rs}}}}$, $r, k = \overline{1, R}, r \neq k$ — вероятность того, что в s -й момент времени наблюдения r -й техногенный объект ближе к ОТО, чем k -й, $s = \overline{1, S}$.

Для определения условной вероятности $P_s(w_{rs}/H_r)$ используется формула

$$P_s(w_{rs}/H_r) = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{w_r}}} \int_0^{\Delta w_{rs} - \frac{y^2}{2D_{w_r}}} e^{-\frac{y^2}{2D_{w_r}}} dy, r = \overline{1, R}, \quad (8)$$

где $\Delta w_{rs} = |w_{rs} - w_{OTO}|$.

Тогда апостериорные вероятности гипотез H_r , $r = \overline{1, R}$, учитывающие объем и качество измерительной информации, полученной на различных этапах наблюдения, определяются по формуле Байеса

$$P_s(H_r/w_{rs}) = \frac{P_s(H_r)P_s(w_{rs}/H_r)}{\sum_{i=1}^R P_s(H_i)P_s(w_{is}/H_i)}, \quad r = \overline{1, R}, s = \overline{1, S}, \quad (9)$$

в соответствии с которой по результатам измерений значений селективных признаков наблюдаемых объектов в 1-й серии наблюдения получено

$$P_1(H_1/w_{11}), P_1(H_2/w_{21}), P_1(H_3/w_{31}), \dots, P_1(H_R/w_{R1}),$$

во 2-й серии

$$P_2(H_1/w_{12}), P_2(H_2/w_{22}), P_2(H_3/w_{32}), \dots, P_2(H_R/w_{R2}),$$

в S -й серии

$$P_S(H_1/w_{1S}), P_S(H_2/w_{2S}), P_S(H_3/w_{3S}), \dots, P_S(H_R/w_{RS}).$$

На основе этих данных для r -го наблюдаемого объекта определяется средняя апостериорная вероятность гипотезы H_r по результатам измерений значений его частных признаков во всех сериях

$$P_r = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S P_s(H_r/w_{rs}), \quad r = \overline{1, R}. \quad (10)$$

Можно показать, что вероятности P_r , $r = \overline{1, R}$, характеризуют полную группу несовместных событий. Действительно,

$$\sum_{r=1}^R P_r = \sum_{r=1}^R \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S P_s(H_r/w_{rs}) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R P_s(H_r/w_{rs}).$$

Поскольку в соответствии с формулой (9)

$$\sum_{r=1}^R P_s(H_r/w_{rs}) = 1, \quad s = \overline{1, S},$$

то

$$\sum_{r=1}^R P_r = 1.$$

Тогда правило принятия решения о техногенном объекте, представляющем наибольшую угрозу функционирующим в его окрестности космическим аппаратам, формулируется следующим образом: наблюдаемый объект с номером $u \in \{1, 2, \dots, R\}$ является ОТО, если

$$P_u = \max \{P_r, r = \overline{1, R}\}. \quad (11)$$

Пример выбора ОТО по результатам измерений значений частных признаков наблюдаемых объектов в двух сериях. Рассматривается гипотетический КАМ, ведущий наблюдение за некоторой областью ОКП, в которой находятся четыре космических объекта ($R = 4$). Известны значения шести ($n = 6$) частных селективных признаков техногенного объекта, представляющего наибольшую угрозу функционирующему в его окрестности орбитальному средству: $x_{\text{ото1}} = 100$, $x_{\text{ото2}} = 40$, $x_{\text{ото3}} = 25$, $x_{\text{ото4}} = 18$, $x_{\text{ото5}} = 10$, $x_{\text{ото6}} = 3$. Погрешности бортовых измерительных средств КАМ, используемых для измерения значений частных признаков наблюдаемых объек-

тов, имеют дисперсии: $D_{x_1} = 3$, $D_{x_2} = 1,3$, $D_{x_3} = 0,8$, $D_{x_4} = 0,6$, $D_{x_5} = 0,3$, $D_{x_6} = 0,1$. При сближении КАМ с наблюдаемой областью ОКП за короткий промежуток времени удалось провести две серии ($S = 2$) измерений частных признаков наблюдаемых объектов.

В первой серии измерений были получены:

— по первому наблюдаемому объекту одно ($N_1^{(11)} = 1$) значение $x_{11}^{(11)} = 101,83$ первого признака, два ($N_2^{(11)} = 2$) значения $x_{21}^{(11)} = 39,33$, $x_{22}^{(11)} = 39,64$ второго, одно ($N_3^{(11)} = 1$) значение $x_{31}^{(11)} = 27,15$ третьего, одно ($N_4^{(11)} = 1$) значение $x_{41}^{(11)} = 17,31$ четвертого, одно ($N_5^{(11)} = 1$) значение $x_{51}^{(11)} = 10,24$ пятого и одно ($N_6^{(11)} = 1$) значение $x_{61}^{(11)} = 2,91$ шестого признака;

— по второму объекту одно ($N_1^{(21)} = 1$) значение $x_{11}^{(21)} = 102,49$ первого признака, одно ($N_2^{(21)} = 1$) значение $x_{21}^{(21)} = 40,92$ второго, два ($N_3^{(21)} = 2$) значения $x_{31}^{(21)} = 24,91$, $x_{32}^{(21)} = 24,26$ третьего и одно ($N_4^{(21)} = 1$) значение $x_{41}^{(21)} = 17,57$ четвертого признака. Значения пятого и шестого признаков измерить не удалось ($N_5^{(21)} = 0$, $N_6^{(21)} = 0$);

— по третьему объекту одно ($N_1^{(31)} = 1$) значение $x_{11}^{(31)} = 100,10$ первого признака, одно ($N_2^{(31)} = 1$) значение $x_{21}^{(31)} = 37,68$ второго, одно ($N_3^{(31)} = 1$) значение $x_{31}^{(31)} = 24,51$ третьего и одно ($N_4^{(31)} = 1$) значение $x_{41}^{(31)} = 17,41$ четвертого признака. Значения остальных признаков измерить не удалось ($N_5^{(31)} = 0$, $N_6^{(31)} = 0$);

— по четвертому объекту одно ($N_1^{(41)} = 1$) значение $x_{11}^{(41)} = 98,38$ первого признака, одно ($N_2^{(41)} = 1$) значение $x_{21}^{(41)} = 42,23$ второго и одно ($N_4^{(41)} = 1$) значение $x_{41}^{(41)} = 19,52$ четвертого признака. Третий, пятый и шестой признаки измерить не удалось ($N_3^{(41)} = 0$, $N_5^{(41)} = 0$, $N_6^{(41)} = 0$).

Во второй серии измерений была получена следующая информация:

— по первому наблюдаемому объекту одно ($N_1^{(12)} = 1$) значение $x_{11}^{(12)} = 97,00$ первого признака, одно ($N_3^{(12)} = 1$) значение $x_{31}^{(12)} = 24,51$ третьего, одно ($N_4^{(12)} = 1$) значение $x_{41}^{(12)} = 18,58$ четвертого, одно ($N_5^{(12)} = 1$) значение $x_{51}^{(12)} = 9,42$ пятого, значения остальных признаков измерить не удалось ($N_2^{(12)} = 0$; $N_6^{(12)} = 0$);

— по второму объекту одно ($N_1^{(22)} = 1$) значение $x_{11}^{(22)} = 101,85$ первого признака, одно ($N_2^{(22)} = 1$) значение $x_{21}^{(22)} = 39,86$ второго, одно ($N_3^{(22)} = 1$) значение $x_{31}^{(22)} = 26,46$ третьего и одно ($N_4^{(22)} = 1$) значение $x_{41}^{(22)} = 18,55$ четвертого, одно ($N_6^{(22)} = 1$) значение $x_{61}^{(22)} = 3,31$ шестого, значение пятого признака измерить не удалось ($N_5^{(22)} = 0$);

— по третьему объекту одно ($N_1^{(32)} = 1$) значение $x_{11}^{(32)} = 101,20$ первого признака, одно ($N_3^{(32)} = 1$) значение $x_{31}^{(32)} = 23,01$ третьего, одно ($N_4^{(32)} = 1$) значение $x_{41}^{(32)} = 18,81$ четвертого и одно ($N_6^{(32)} = 1$) значение $x_{61}^{(32)} = 2,75$ шестого признака. Остальные признаки измерить не удалось ($N_2^{(32)} = 0$; $N_5^{(32)} = 0$);

— по четвертому объекту одно ($N_1^{(42)} = 1$) значение $x_{11}^{(42)} = 100,26$ первого признака, одно ($N_3^{(42)} = 1$) значение $x_{31}^{(42)} = 25,52$ третьего, одно ($N_5^{(42)} = 1$) значение $x_{51}^{(42)} = 9,39$ пятого и одно ($N_6^{(42)} = 1$) значение $x_{61}^{(42)} = 3,02$ шестого признака. Второй и четвертый признаки измерить не удалось ($N_2^{(42)} = 0$, $N_4^{(42)} = 0$).

На основе данных, полученных при первой и второй сериях измерений частных селективных признаков наблюдаемых объектов, рассчитаны:

— по формулам (4) коэффициенты моделей (1)

$$a_1^{(11)} = 0,044; a_2^{(11)} = 0,041; a_3^{(11)} = 0,041; a_4^{(11)} = 0,040; a_5^{(11)} = 0,044; a_6^{(11)} = 0,040;$$

$$a_1^{(21)} = 0,050; a_2^{(21)} = 0,046; a_3^{(21)} = 0,047; a_4^{(21)} = 0,045; a_5^{(21)} = 0; a_6^{(21)} = 0;$$

$$a_1^{(31)} = 0,057; a_2^{(31)} = 0,052; a_3^{(31)} = 0,053; a_4^{(31)} = 0,051; a_5^{(31)} = 0; a_6^{(31)} = 0;$$

$$a_1^{(41)} = 0,065; a_2^{(41)} = 0,060; a_3^{(41)} = 0; a_4^{(41)} = 0,059; a_5^{(41)} = 0; a_6^{(41)} = 0;$$

$$\begin{aligned}
a_1^{(12)} &= 0,067; a_2^{(12)} = 0,060; a_3^{(12)} = 0,063; a_4^{(12)} = 0,060; a_5^{(12)} = 0,067; a_6^{(12)} = 0; \\
a_1^{(22)} &= 0,056; a_2^{(22)} = 0,052; a_3^{(22)} = 0,052; a_4^{(22)} = 0,050; a_5^{(22)} = 0; a_6^{(22)} = 0,050; \\
a_1^{(32)} &= 0,070; a_2^{(32)} = 0; a_3^{(32)} = 0,066; a_4^{(32)} = 0,063; a_5^{(32)} = 0; a_6^{(32)} = 0,063; \\
a_1^{(42)} &= 0,074; a_2^{(42)} = 0; a_3^{(42)} = 0,069; a_4^{(42)} = 0; a_5^{(42)} = 0,074; a_6^{(42)} = 0,066;
\end{aligned}$$

— по формулам (5) и (6) значения и дисперсии интегральных признаков при $w_{OTO} = 10$

$$\begin{aligned}
w_{11} &= 10,107; w_{21} = 10,108; w_{31} = 9,829; w_{41} = 10,118; \\
D_{w_{11}} &= 0,013; D_{w_{21}} = 0,015; D_{w_{31}} = 0,017; D_{w_{41}} = 0,020; \\
w_{12} &= 9,763; w_{22} = 10,215; w_{32} = 9,989; w_{42} = 10,011; \\
D_{w_{12}} &= 0,020; D_{w_{22}} = 0,017; D_{w_{32}} = 0,021; D_{w_{42}} = 0,022;
\end{aligned}$$

— по формулам (7) расчетные вероятности гипотез $H_r, r = \overline{1, R}$

$$\begin{aligned}
P_1(H_1) &= 0,281; P_1(H_2) = 0,260; P_1(H_3) = 0,240; P_1(H_4) = 0,219; \\
P_2(H_1) &= 0,248; P_2(H_2) = 0,278; P_3(H_3) = 0,240; P_4(H_4) = 0,234.
\end{aligned}$$

Подстановка значений интегральных признаков и их дисперсий в формулу (8) позволяет получить условные вероятности

$$\begin{aligned}
P_1(w_{11}/H_1) &= 0,176; P_1(w_{21}/H_2) = 0,188; P_1(w_{31}/H_3) = 0,094; P_1(w_{41}/H_4) = 0,200; \\
P_2(w_{12}/H_1) &= 0,047; P_2(w_{22}/H_2) = 0,048; P_2(w_{32}/H_3) = 0,469; P_2(w_{42}/H_4) = 0,470.
\end{aligned}$$

Апостериорные вероятности гипотез $H_r, r = \overline{1, R}$, учитывающие объем и качество информации в каждой серии измерений, определяются по формуле (9):

$$\begin{aligned}
P_1(H_1/w_{11}) &= 0,300; P_1(H_2/w_{21}) = 0,297; P_1(H_3/w_{31}) = 0,137; P_1(H_4/w_{41}) = 0,266; \\
P_2(H_1/w_{12}) &= 0,047; P_2(H_2/w_{22}) = 0,054; P_2(H_3/w_{32}) = 0,455; P_1(H_4/w_{42}) = 0,443.
\end{aligned}$$

Отсюда видно, что максимум апостериорной вероятности, полученной по результатам измерений селективных признаков наблюдаемых объектов в первой серии, обеспечивается для 1-го объекта, а во второй — для 3-го объекта.

Поэтому по формуле (10) определяются средние апостериорные вероятности гипотез $H_r, r = \overline{1, R}$

$$P_1 = 0,173; P_2 = 0,176; P_3 = 0,296; P_4 = 0,355$$

и в соответствии с решающим правилом (11) принимается решение о том, что 4-й наблюдаемый объект является ОТО, представляющим наибольшую угрозу функционирующим в его окрестности орбитальным средствам.

Заключение. Предложенный подход к выбору наиболее опасного техногенного объекта из множества наблюдаемых КАМ позволяет принять решение в общем случае, когда получено более одной серий наблюдений за заданной областью ОКП. При этом состав частных селективных признаков различных наблюдаемых объектов и количества их измерений в различных сериях могут различаться. Принимаемое на основе этого подхода решение об ОТО обеспечивает максимум средней апостериорной вероятности того, что выбранный наблюдаемый объект является наиболее опасным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adushkin V., Aksenov O., Veniaminov S., Kozlov S. Challenging aspects in evaluation the potential danger of space objects breakups and collisions for space flights // *Advances and Astrophysics*. 2018. Vol. 3, N 2. P. 83–90. <https://dx.doi.org/10.22606/adap.2018.32003>.
2. Шустов Б. М. О роли науки в изучении и парировании космических угроз // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89, № 8. С. 777–799. doi:<http://doi.org/10.31857/S0869-5873898777-000>.
3. Menshikov V. A., Perminov A. N., Urlichich Y. M. The Conception of the International Global Monitoring Aerospace System (IGMASS) // *Global Aerospace Monitoring and Disaster Management*. Springer, Vienna. 2012. P. 233–261. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0810-9_4.
4. Журкин И. Г., Чабан Л. Н., Орлов П. Ю. Структурно-топологический алгоритм идентификации звёзд и обнаружения объектов околоземного космического пространства // *Компьютерная оптика*. 2020. Т. 44, № 3. С. 375–384. DOI:10.18287/2412-6179-CO-597.
5. Павлова Е. А., Стрельцов А. И., Еленин Л. В., Степаньянц В. А., Захваткин М. В. Формирование единого классификатора опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве // *Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша*. 2020. № 23. 22 с. <http://doi.org/10.20948/prepr-2020-23>.
6. Арсеньев В. Н., Трофимов И. А. Решение задачи выбора в условиях физической неоднородности и ограниченности наблюдаемых признаков // *Информационно-управляющие системы*. 2015. № 4(77). С. 114–118. DOI:10.15217/issn1684-8853.2015.4.114.
7. Кириченко Д. В., Багров А. В. Оперативное выявление космогенных угроз с помощью орбитальных средств контроля космического пространства // *Радиопромышленность*. 2014. № 1. С. 174–184.
8. Арсеньев В. Н., Ядренкин А. А. Выбор заданного космического объекта из множества наблюдаемых специализированным космическим аппаратом // *Информационно-управляющие системы*. 2022. № 2(117). С. 11–19. DOI:10.31799/1684-8853-2022-2-11-19.
9. Арсеньев В. Н., Ядренкин А. А., Слатова Е. В. Принятие решения о наиболее опасном техногенном объекте космическим аппаратом мониторинга околоземного космического пространства // *Информационно-управляющие системы*. 2023. № 4. С. 26–34. DOI:10.31799/1684-8853-2023-4-26-34.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Николаевич Арсеньев— д-р техн. наук, профессор; ВКА им. А.Ф. Можайского, кафедра бортовых информационных и измерительных комплексов;
E-mail: vladar56@mail.ru**Екатерина Викторовна Слатова**— соискатель; ВКА им. А.Ф. Можайского, кафедра бортовых информационных и измерительных комплексов; E-mail: vka@mil.ru**Андрей Александрович Ядренкин**— канд. техн. наук, доцент; ВКА им. А.Ф. Можайского, кафедра бортовых информационных и измерительных комплексов;
E-mail: vka@mil.ru

Поступила в редакцию 12.06.24; одобрена после рецензирования 20.06.24; принята к публикации 22.10.24.

REFERENCES

1. Adushkin V., Aksenov O., Veniaminov S., Kozlov S. *Advances and Astrophysics*, 2018, no. 2(3), pp. 83–90, <https://dx.doi.org/10.22606/adap.2018.32003>.
2. Shustov B.M. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2019, no. 4(89), pp. 311–324.
3. Menshikov V.A., Perminov A.N., Urlichich Y.M. *Global Aerospace Monitoring and Disaster Management*, Vienna, Springer, 2012, pp. 233–261, https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0810-9_4.
4. Zhurkin I.G., Chaban L.N., Orlov P.Yu. *Computer Optics*, 2020, no. 3(44), pp. 375–384, DOI:10.18287/2412-6179-CO-597. (in Russ.)
5. Pavlova E.A., Streltsov A.I., Elenin L.V., Stepanyants V.A., Zakhvatkin M.V. *Preprints of the Institute for Problems of Mathematics*, 2020, no. 23, 22 p. <http://doi.org/10.20948/prepr-2020-23>. (in Russ.)
6. Arseniev V.N., Trofimov I.A. *Information and Control Systems*, 2015, no. 4(77), pp. 114–118, DOI:10.15217/issn1684-8853.2015.4.114. (in Russ.)
7. Kirichenko D.V., Bagrov A.V. *Radio Industry*, 2014, no. 1, pp. 174–184. (in Russ.)
8. Arseniev V.N., Yadrenkin A.A. *Information and Control Systems*, 2022, no. 2(117), pp. 11–19, DOI:10.31799/1684-8853-2022-2-11-19. (in Russ.)
9. Arseniev V.N., Yadrenkin A.A., Slatova E.V. *Information and Control Systems*, 2023, no. 4, pp. 26–34, DOI:10.31799/1684-8853-2023-4-26-34. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS***Vladimir N. Arseniev***

Dr. Sci., Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of On-board Information and Measuring Complexes; E-mail: vladar56@mail.ru

Ekaterina V. Slatova

PhD candidate; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of On-board Information and Measuring Complexes; E-mail: vka@mil.ru

Andrey A. Yadrenkin

PhD, Associate Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of On-board Information and Measuring Complexes; E-mail: vka@mil.ru

Received 12.06.24; approved after reviewing 20.06.24; accepted for publication 22.10.24.