

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-3-34-40

Manuscript received 20 February 2023;
Accepted 16 March 2023

Гураль Дмитрий Александрович,
Научно-исследовательский институт телевидения,
г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: методика оценивания, средства наблюдения за космическим пространством, космические объекты, информационное обеспечение, сход с орбиты, автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве, космический мусор

В данной статье представлена структура и содержание основных этапов методики оценивания оперативности информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве при наблюдении за космическими объектами на высоких орбитах оптическими средствами наблюдения за космическим пространством с применением программно-аппаратного комплекса сбора информации. **Постановка задачи:** разработка методики обнаружения отклонения космических объектов с расчетных орбит их движения наземными средствами наблюдения за космическим пространством учитывающие различные варианты построения орбитальных группировок и сети наземных оптических средств наблюдения. **Результаты:** Разработана методика оценивания оперативности информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве учитывающая различные способы организации системы информационного обеспечения и позволяющая динамически оценивать оперативность обнаружения отклонения космических объектов с расчетных орбит. **Практическая значимость:** предложенная методика позволяет выделить оптимальные способы организации информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве на основе оценки оперативности обнаружения отклонения космических объектов с расчетных орбит при динамическом изменении космической обстановки и состояния функционирования средств наблюдения за космическим пространством и сформировать рекомендации по совершенствованию информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве. **Обсуждение:** новизна предложенной постановки задачи состоит в том, что структура разработанной методики позволяет учитывать различные способы организации системы информационного обеспечения и строить вероятностные оценки оперативности ее функционирования на основе динамического изменения космической обстановки и состояния наземных средств наблюдения за космическим пространством.

Информация об авторах:

Гураль Дмитрий Александрович, соискатель ученой степени кандидата наук, Научно-исследовательский институт телевидения, г. Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования:

Гураль Д.А. Методика оценивания оперативности информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №3. С. 34-40.

For citation:

Gural D.A. (2023) Methodology for assessing the efficiency of information support for automated warning systems about dangerous situations in near-Earth space. T-Comm, vol. 17, no. 3, pp. 34-40. (in Russian)

Введение

В настоящее время остро стоит вопрос безопасности вывода космических аппаратов и поддержание их работоспособности на орбитах их движения в связи с непреклонно увеличивающимся количеством космических объектов (КО) в околоземном космическом пространстве различного типа, в том числе и «космического мусора». Для решения задач, связанных с отслеживанием движения космических объектов и предупреждения опасных ситуаций создаются автоматизированные системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП), которые представляют собой информационно-аналитические центры как правило опираются на информацию, предоставляемую существующими системами наблюдения за космическим пространством различного назначения, открытыми источниками и средствами наблюдения создаваемыми в рамках развертывания таких систем. Так, АСПОС ОКП создаваемая отечественной корпорацией «Роскосмос» использует информацию, предоставляемую следующими источниками:

1. главным информационно-аналитическим центром (ГИАЦ);
2. сегментом мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневисоких орбит;
3. сегментом по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности;
4. комплексом специализированных оптико-электронных средств (КСОЭС), размещенных как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.
5. Сегментами и специализированными оптико-электронными средствами, работающими по заданиям ГИАЦ АСПОС ОКП.

Сеть из представленных систем и средств наблюдения за космическим пространством можно определить, как систему информационного обеспечения АСПОС ОКП состоящую из большого числа различных средств наблюдения за космическим пространством (СНКП) имеющих различные характеристики и предназначенных для решения различных целевых задач [1]. Организация автоматизированного сбора информации с такой сети гетерогенных СНКП является сложной задачей в следствии чего, не всегда достигается требуемый уровень оперативности обнаружения отклонения космических объектов с расчетных орбит при численном росте таких событий в ОКП. С целью оценивания оперативности обнаружения отклонения космических объектов с расчетных орбит предложена методика оценивания оперативности информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве

Разработка методики оценивания оперативности информационного обеспечения автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве

Целью методики является оценивание значений выбранного показателя оперативности для различных вариантов

космической обстановки, состоянии оптических средств и параметров информационной системы.

Частная постановка задачи для оценки оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП демонстрирует сложность решения задачи выбора оптимального способа сбора информации ввиду большого количества данных и ограничений, а также гетерогенности получаемой информации от привлекаемых СНКП и неопределенности данных о состоянии системы и имеющихся в ней информации.

В статье разрабатываются процедуры, основанные на использовании текущей информации, собранной в процессе выполнения планов сопровождения наблюдаемых КО.

Для повышения оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП разработана методика оценивания оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП (рис. 1), которая состоит из следующих этапов:

На первом этапе определяются исходные данные о параметрах информационно-вычислительных ресурсов, о состоянии космической обстановки и наземных средств наблюдения, о параметрах способа сбора информации о космической обстановке;

На втором этапе определяются условия формирования вариантов космической обстановки по интенсивности сходов КО с расчетных орбит путем создания 30 вариантов различной интенсивности, что позволяет выявить зависимость оперативности применения того или иного способа организации информационного обеспечения от интенсивности изменения космической обстановки.

В первом варианте с расчетной орбиты сходит один КО, а в тридцатом – сход осуществляют 30 КО, соответственно: W_j – j -вариант космической обстановки.

На втором этапе осуществляется формирование совокупности способов организации информационного обеспечения посредством реализации методики определения способов информационного обеспечения АСПОС ОКП.

На третьем этапе проводится имитационное моделирование процесса сбора координатной информации по КО с определением значений показателей оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП при реализации каждого из способов организации информационного обеспечения, относительно сформированной методики, при всех вариантах интенсивности изменения космической обстановки [2,3].

Имитационная модель позволяет имитировать состояние СНКП: изменения технического состояния узлов опираясь на статистику их работы, изменения погодных условий в районе расположения СНКП исходя из истории метеорологических прогнозов в географическом районе, изменения условий оптической видимости для СНКП рассчитывается с помощью моделей вращения небесных тел, и определяет время суток, положение солнца и другие условия необходимые для работы оптических средств наблюдения [8].

Блок-схема имитационной модели представлена на рисунке 2. Так же в модель добавлен расчет времени сближения и расчет времени обработки информации с оптических СНКП с целью определения достаточности оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП для организации предупреждения и разрешения опасной ситуации в ОКП.

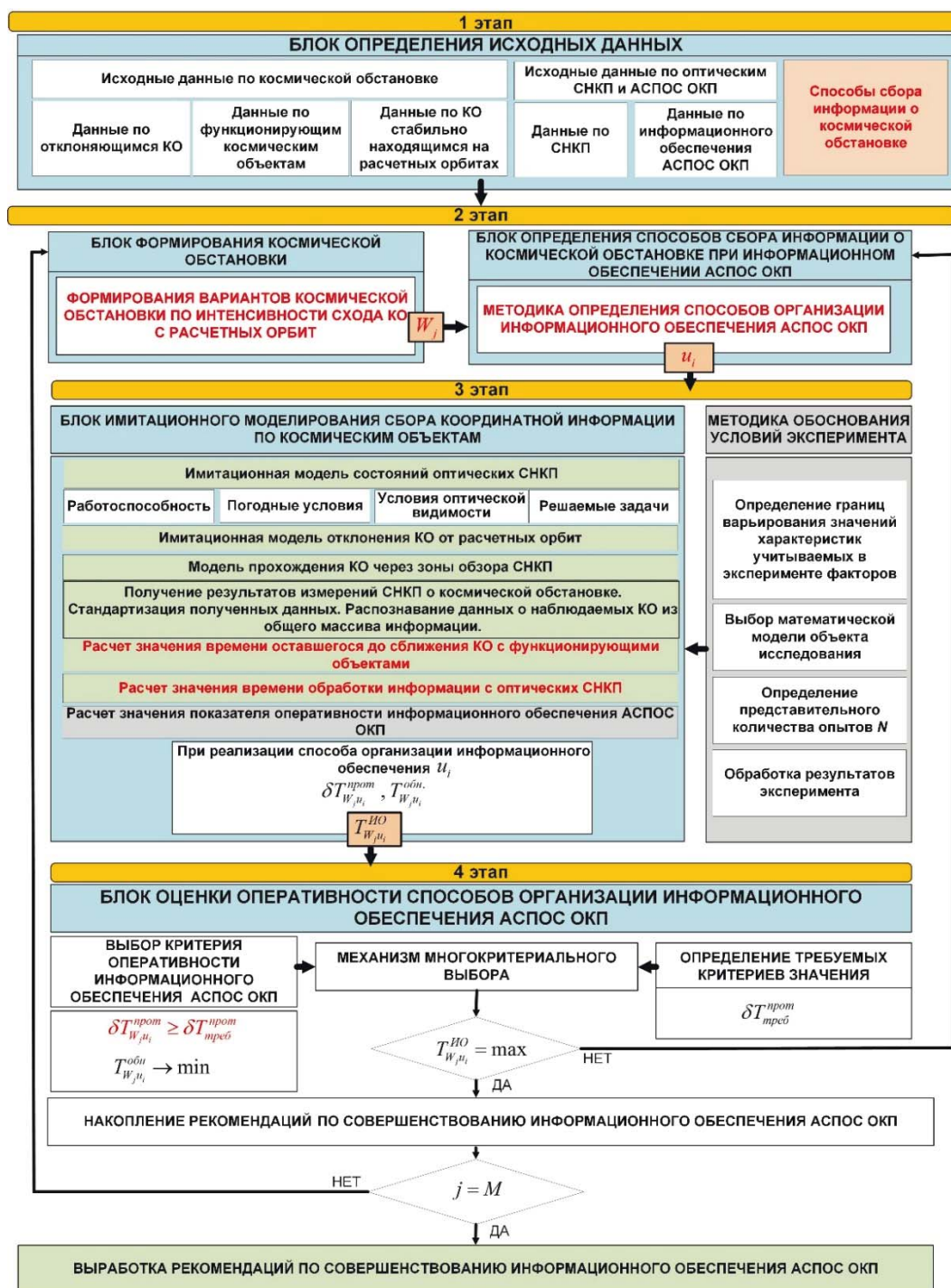


Рис. 1. Структурная схема методики оценивания оперативности информационного обеспечения АСПОС

На четвертом этапе используя выбранный критерий оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП – доля оперативно обнаруженных сходов КО с расчетных орбит $\delta T_{W,u_i}^{прот}$, который рассчитывается выражением:

$$\delta T_{W,u_i}^{прот} = \frac{\sum_{i=1}^{OM} P_{СП}}{N},$$

Где:
 $T_{i=1}^{OM}$ – время до сближения;

$P_{СП}$ – вероятность своевременного предупреждения;

N – количество экспериментов.

Производится выбор рационального способа организации информационного обеспечения u_i , для заданных условий обстановки [5]. При несоответствии требуемому критерию доли оперативно обнаруженных сходов КО с орбит $\delta T_{W,u_i}^{прот}$ проводится корректировка способа. В результате анализа отобранных способов осуществляется накопление рекомендаций по совершенствованию информационного обеспечения АСПОС ОКП.

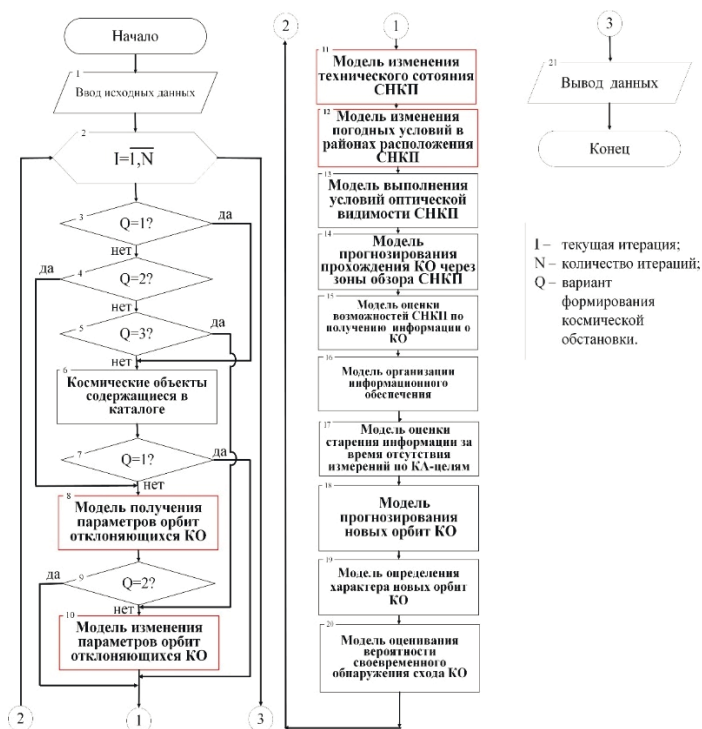


Рис. 2. Блок-схема имитационной модели сбора информации по отклоняющимся КО

Для решения задачи формирования множества исследуемых способов организации информационного обеспечения используется разработанная методика определения способов информационного обеспечения АСПОС ОКП (рис. 3).

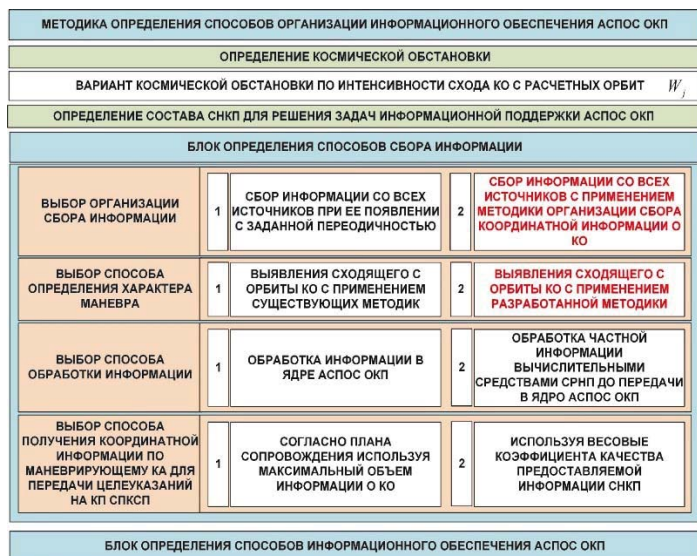


Рис. 3. Методика определения способов информационного обеспечения АСПОС ОКП

В методику определения способов информационного обеспечения АСПОС ОКП включены разработанные методики, представленные в рекомендациях по совершенствованию информационного обеспечения АСПОС ОКП:

1. Методика организации сбор координатной информации о КО – позволяющая на основе постоянно обновляющейся информации о состоянии СНКП составлять план

сопровождения КО используя для наблюдения только средства способные дать наиболее точную и своевременную информацию о КО;

2. Методика определения и классификации движения КО – позволяющая распределить задачу поиска КО между средствами наблюдения ведущими работы в расчетных секторах появления КО и оперативно классифицировать новую орбиту на опасную.

Реализация данного шага осуществляется последовательно следующих этапов:

на первом этапе осуществляется определение варианта космической обстановки по интенсивности схода КО с расчетных орбит, для которого будут применяться сформированные способы;

на втором этапе определяется состав оптических средств наблюдения, необходимый для оперативного контроля за космической обстановкой;

на третьем этапе определяется множество способов организации информационного обеспечения исходя из ранее установленных классификационных признаков, с последующим формированием множества способов организации информационного обеспечения АСПОС ОКП.

Для каждого сформированного способа организации информационного обеспечения было проведено моделирование исследуемого процесса для различных вариантов космической обстановки. Используя метод доверительных интервалов, было определено требуемое количество реализаций моделирования для каждого сформированного способа.

В результате реализации методики были сформированы 8 способов информационного обеспечения АСПОС ОКП. Указанные способы являются входными данными имитационной модели и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Способы организации информационного обеспечения АСПОС ОКП

№ п/п	Содержание способов организации информационного обеспечения СПКСП	Признак новизны варианта
1	Сбор информации со всех источников при ее появлении с заданной периодичностью, выявления сходящего с орбиты КО с применением существующих методик, обработка информации в ядре АСПОС ОКП	Новый
2	Сбор информации со всех источников при ее появлении с заданной периодичностью, выявление сошедшего КО с применением разработанной методики, обработка информации в ядре АСПОС ОКП	Новый
3	Сбор информации со всех источников при ее появлении с заданной периодичностью, выявление сходящего с орбиты КО с применением разработанной методики, обработка частной информации вычислительными средствами СНКП до передачи в ядро АСПОС ОКП	Новый
4	Сбор информации со всех источников при ее появлении с заданной периодичностью, выявление сходящего с орбиты КО с применением существующих методик, обработка частной информации вычислительными средствами СНКП до передачи в ядро АСПОС ОКП	Новый

5	Сбор информации со всех источников с применением методики организации сбора координатной информации о КО, выявление сходящего с орбиты КО с применением разработанной методики, обработка частной информации вычислительными средствами СНКП до передачи в ядро АСПОС ОКП	Новый
6	Сбор информации со всех источников с применением методики организации сбора координатной информации о КО, выявление сходящего с орбиты КО с применением существующих методик, обработка частной информации вычислительными средствами СНКП до передачи в ядро АСПОС ОКП	Новый
7	Сбор информации со всех источников с применением методики организации сбора координатной информации о КО, выявления сходящего с орбиты КО с применением существующих методик, обработка информации в ядре АСПОС ОКП	Новый
8	Сбор информации со всех источников с применением методики организации сбора координатной информации о КО, выявления сходящего с орбиты КО с применением разработанной методики, обработка информации в ядре АСПОС ОКП	Новый

В результате проведенного моделирования вычислены значения показателей оперативности информационного обеспечения $T^{IO}(\delta T_{\text{прот}}, T_{\text{обн}})$ при реализации каждого из способов организации информационного обеспечения АСПОС ОКП. Результаты анализа полученных значений показателей составили эмпирическую основу для формирования следующих существенных выводов:

Выявление зависимости оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП от реализуемого способа организации информационного обеспечения АСПОС ОКП и варианта космической обстановки.

Реализация рекомендуемых способов № 1, 2, 3, 4 подразумевающих сбор информации о космической обстановке со всех оптических СНКП с заданной периодичностью. Такой вариант сбора предполагает получение всех измерений о космической обстановке, что приводит к увеличению времени необходимого для обработки информации и выявлению КО сходящих с расчетных орбит. В ходе разработки методики установлено, что при вариантах космической обстановки с низкой интенсивностью сходов КО с расчетных орбит оперативность информационного обеспечения АСПОС ОКП остается на высоком уровне и падает при увеличении количества сходящих с расчетных орбит КО.

В способе 2 используется разработанная методика определения и классификации орбит КО, позволяющая сократить время на обнаружение сходящего с орбиты КО на новой орбите. Оперативность информационного обеспечения при использовании разработанной методики возрастает с повышением интенсивности сходов КО.

В способе 3 предлагается проводить часть обработки информации непосредственно на средствах СНКП, что позволяет повысить оперативность информационного обеспечения при необходимости оперативной обработки большого количества информации.

Такая необходимость возникает при поиске большого КО на новых орбитах после интенсивного схода КО с орбит, но значительно компенсируется использованием разработанной

методики определения и классификации орбит КО. В 4 способе также используется вариант обработки информации непосредственно на средствах СНКП, что снижает потери оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП, возникающие при поиске большого количества КО на новых орбитах с применением существующих методик.

Реализация рекомендуемых способов № 5, 6, 7, 8 подразумевающих основную особенностью сбор информации со всех источников с применением методики организации сбора координатной информации о КО. Такой вариант сбора предполагает получение измерений о космической обстановке в соответствии с приоритетностью КО согласно плана сопровождения, что приводит к упорядоченному поступлению информации в ядро АСПОС ОКП и сокращению времени необходимого для обработки информации и выявлению сходящих с расчетных орбит КО. В ходе разработки методики установлено, что при повышении интенсивности схода КО с расчетных орбит возрастает и оперативность применения таких способов в сравнении с предыдущими.

На основе применения разработанной методики были получены данные характеризующие зависимость оперативности информационного обеспечения АСПОС ОКП от выбранного способа организации информационного обеспечения сложности космической обстановки представленные на рисунке 4.

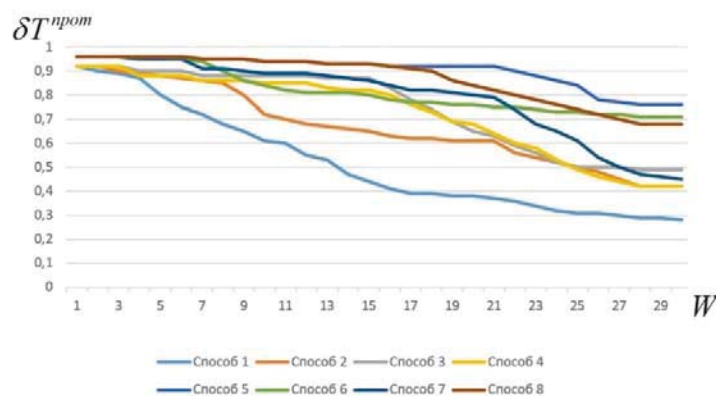


Рис. 4. Оперативность информационного обеспечения АСПОС ОКП

Полученные экспериментальные результаты в ходе разработки методики позволили сформировать эмпирическую базу для выработки рекомендаций по совершенствованию информационного обеспечения ПКСП.

Рекомендаций по совершенствованию информационного обеспечения ПКСП

Предложены рекомендации по классификации наблюдаемых КО с целью определения приоритетности обработки информации вычислительным комплексом, что позволяет снизить нагрузку на ВК и повысить оперативность обнаружения КО:

- 1 класс — космические объекты с нестабильными орбитами и новые КО;
- 2 класс — космические объекты для которых существует возможность перехода на орбиты сближения с функционирующими КО;
- 3 класс — остальные космические объекты.

Предложены рекомендации по повышению оперативности получения информации о космической обстановке (рис. 5) на основе применения матриц состояний СНКП, что позволяет контролировать состояние наземных СНКП. Формирование и поддержание актуальности матриц состояния СНКП позволяет реализовывать способы информационного обеспечения СНКП, заранее составлять план сопровождения приоритетных КО и организовывать сбор информации только со СНКП участвующих в сопровождении, не влияя на выполнение их задач. Рекомендации представляют собой методику по повышению оперативности получения информации о космической обстановке [4, 6, 7].



Рис. 5. Рекомендации по повышению оперативности получения информации о космической обстановке

А также предложены рекомендации по контролю КО при обнаружении схода с расчетной орбиты (рисунок 6) которые позволяют при обнаружении схода оценить его характер, построить план сопровождения в ожидаемых точках на основе матриц состояний СНКП.



Рис. 6. Рекомендации по контролю КО при обнаружении его схода с расчетной орбиты

Комплексное использование разработанных рекомендаций по совершенствованию информационного обеспечения АСПОС ОКП позволяет повысить оперативность информационного обеспечения АСПОС ОКП на 17-22 % (для заданных экспериментальных условий).

Вывод

Представленная методика позволяет оценить оперативность информационного обеспечения АСПОС ОКП рассчитывать время входа космических объектов в зоны действия

наземных оптических средств наблюдения за космическим пространством, оценить влияние разных способов организации информационного обеспечения и вариантов изменения космической обстановки, учитывая различные варианты построения орбит движения космических объектов и получать вероятностные значения времени обнаружения схода КО с расчетных орбит в зависимости применяемого способа и учитывая динамическое изменение технического состояния наземных средств наблюдения и условий окружающей среды в районе их расположения. Позволяет сформировать рекомендации по совершенствованию информационного обеспечения АСПОС ОКП.

Положительный эффект практической реализации предложенного научно-методического подхода увеличивается по мере усложнения космической обстановки. Максимальное значение прироста показателя доли успешных обнаружений схода КО с расчетных орбит достигается при условиях реализации способов, предусматривающих сбор информации со всех источников с применением методики организации сбора координатной информации о КО, выявления сходящего с орбиты КО с применением разработанной методики, при этом обработка информации может проводится в ядре АСПОС ОКП.

Литература

1. Новиков П.В., Олейников И.И. обоснование требований к системам предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве исходя из критерия минимума среднего риска // космонавтика и ракетостроение. 2012. №4. С. 199-206.
2. Буренин А.Н., Легков К.Е. Обеспечение эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе процедур оперативного управления ресурсами информационных служб // Информатика и космос. 2017. №3. С. 64-72.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей. Математическая статистика. М.: Высшая школа, 2004. 480 с.
4. Гураль Д.А. Методика оперативного обнаружения космических объектов на высоких орбитах // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2022. Т.12. №1. С.12-17
5. Гураль Д.А., Леференко В.Д., Легков К.Е. Методика оценивания оперативности принятия решения на применение средств зондирования околоземного космического пространства // I-Methods. 2021. Т.13. №4. С.48-57
6. Orkin V.V., Legkov K.E. Algorithm of selecting procedures of distributed program control by applications flows in the information system in conditions of perturbations // 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2018. С. 8456942.
7. Емельянов А.В., Левко И.В., Легков К.Е. Методика оперативного решения информационно-расчетных задач программно-техническим комплексом на основе рационального распределения информационно-вычислительных ресурсов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 4. С. 129-134.
8. Легков К.Е., Емельянов А.В. Имитационная модель процесса функционирования программно-технического комплекса при решении разнородных информационно-расчетных задач // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 4. С. 135-141.
9. Лиференко В.Д., Гураль Д.А., Легков К.Е. Моделирование функционирования информационно-управляющей сети распределенными гетерогенными информационно-вычислительными ресурсами в интересах системы поддержки и принятия решения специального назначения // I-methods. 2022. Т. 14. № 4. С. 1-16.

10. Гураль Д.А., Легков К.Е. Программный комплекс моделирования процессов получения информации от средств сопровождения космических объектов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021680088, 07.12.2021. Заявка № 2021669737 от 29.11.2021.

11. Гураль Д.А., Легков К.Е. Программный комплекс моделирования информационных подсистем автоматизированных систем управления объектами специального назначения. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021680877, 15.12.2021. Заявка № 2021669953 от 22.11.2021.

12. Легков К.Е. Способ многоуровневого управления потоками в инфокоммуникационных системах в условиях деструктивных изменений на основе вероятностно-игрового метода. Патент на изобретение RU 2699062 C1, 03.09.2019. Заявка № 2018137089 от 22.10.2018.

13. Легков К.Е. Способ интеллектуального зондового управления инфокоммуникационными сетями в условиях значительных деструктивных изменений. Патент на изобретение RU 2700545 C1, 17.09.2019. Заявка № 2018137088 от 22.10.2018.

14. Легков К.Е. Способ управления ресурсами инфокоммуникационной системы. Патент на изобретение RU 2702502 C1, 08.10.2019. Заявка № 2018137087 от 22.10.2018.

15. Легков К.Е. Способ управления структурой инфокоммуникационной системы. Патент на изобретение RU 2642380 C2, 24.01.2018. Заявка № 2016121535 от 31.05.2016.

16. Легков К.Е. Способ управления качеством предоставляемых инфокоммуникационной системой услуг. Патент на изобретение RU 2665232 C2, 28.08.2018. Заявка № 2016115004 от 18.04.2016.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF INFORMATION SUPPORT FOR AUTOMATED WARNING SYSTEMS ABOUT DANGEROUS SITUATIONS IN NEAR-EARTH SPACE

Dmitry A. Gural, Scientific Research Institute of Television, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Introduction: this article presents the structure and content of the main stages of the methodology for assessing the efficiency of information support for automated warning systems about dangerous situations in near-Earth outer space when observing space objects in high orbits by optical means of observing outer space with the use of a software and hardware information collection complex. **Problem statement:** development of a technique for detecting deviations of space objects from the calculated orbits of their movement by ground-based means of observing outer space, taking into account various options for constructing orbital groupings and a network of ground-based optical means of observation. **Results:** A methodology has been developed for assessing the efficiency of information support for automated warning systems about dangerous situations in near-Earth outer space, taking into account various ways of organizing an information support system and allowing dynamically evaluating the efficiency of detecting deviations of space objects from calculated orbits. **Practical significance:** the proposed methodology makes it possible to identify optimal ways of organizing information support for automated warning systems about dangerous situations in near-Earth outer space based on an assessment of the efficiency of detecting deviations of space objects from calculated orbits with dynamic changes in the space environment and the state of operation of space surveillance facilities and to form recommendations for improving information support for automated warning systems about dangerous situations in near-Earth outer space. **Discussion:** the novelty of the proposed formulation of the problem lies in the fact that the structure of the developed methodology allows us to take into account various ways of organizing the information support system and to build probabilistic estimates of the efficiency of its functioning on the basis of dynamic changes in the space situation and the state of ground-based means of observing outer space.

Keywords: assessment methodology, means of observing outer space, space objects, information support, de-orbiting, automated warning system for dangerous situations in near-Earth outer space, space debris.

References

- Novikov P.V., Oleynikov I.I. substantiation of requirements for warning systems about dangerous situations in near-Earth outer space based on the criterion of the minimum average risk. *Cosmonautics and rocket science*. 2012. No. 4. Pp. 199-206.
- Burenin A.N., Legkov K.E. Ensuring the effective functioning of information subsystems of automated control systems for complex organizational and technical objects based on procedures for operational management of information services resources. *Information and Space*. 2017. No. 3. Pp. 64-72.
- Gmurman V.E. Probability theory. Mathematical statistics. Moscow: "Higher school", 2004. 480 p.
- Gural D.A. Methodology of operational detection of space objects in high orbits. *DSPA: Issues of application of digital signal processing*. 2022. Vol. 12. No. 1. Pp. 12-17.
- Gural D.A., Liferenko V.D., Legkov K.E. Methodology for assessing the efficiency of decision-making on the use of near-Earth space sensing tools. *I-Methods*. 2021. Vol. 13. No. 4. Pp. 48-57.
- Orkin V.V., Legkov K.E. Algorithm of selecting procedures of distributed program control by applications flows in the information system in conditions of perturbations. *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO* 2018. 2018. P. 8456942.
- Emelyanov A.V., Levko I.V., Legkov K.E. Methods of operational solution of information and computational tasks by a software and hardware complex based on rational distribution of information and computing resources. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2018. No. 4. Pp. 129-134.
- Legkov K.E., Emelyanov A.V. Simulation model of the process of functioning of a software and hardware complex in solving heterogeneous information and computational problems. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2018. No. 4. Pp. 135-141.
- Liferenko V.D., Gural D.A., Legkov K.E. Modeling the functioning of an information management network by distributed heterogeneous information and computing resources in the interests of a special purpose support and decision-making system. *I-Methods*. 2022. Vol. 14. No. 4. pp. 1-16.
- Gural D.A., Legkov K.E. A software package for modeling the processes of obtaining information from the means of tracking space objects. Certificate of registration of the computer program 2021680088, 07.12.2021. Application No. 2021669737 dated 11/29/2021.
- Gural D.A., Legkov K.E. Software package for modeling information subsystems of automated control systems for special purpose objects. Certificate of registration of the computer program 2021680877, 12/15/2021. Application No. 2021669953 dated 11/22/2021.
- Legkov K.E. Method of multilevel flow control in infocommunication systems in conditions of destructive changes based on the probabilistic-game method. Patent for the invention RU 2699062 C1, 03.09.2019. Application No. 2018137089 dated 22.10.2018.
- Legkov K.E. Method of intelligent probe control of infocommunication networks in conditions of significant destructive changes. Patent for the invention RU 2700545 C1, 17.09.2019. Application No. 2018137088 dated 10/22/2018.
- Legkov K.E. A method for managing infocommunication system resources. Patent for the invention RU 2702502 C1, 08.10.2019. Application No. 2018137087 dated 10/22/2018.
- Legkov K.E. Method of managing the structure of an infocommunication system. Patent for the invention RU 2642380 C2, 24.01.2018. Application no. 2016121535 dated 31.05.2016.
- Legkov K.E. Method of quality management of the services provided by the infocommunication system. Patent for the invention RU 2665232 C2, 28.08.2018. Application no. 2016115004 dated 04/18/2016.

Information about author: Dmitry A. Gural, candidate of the academic degree of candidate of Sciences, St. Petersburg, Russia