



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014132472/11, 06.08.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.08.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.08.2014

(45) Опубликовано: 10.12.2015 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2465729 С2, 27.10.2012. RU 2349513 С2, 20.03.2009. JP 2002220099 А, 06.08.2002. WO 2001080158 А1, 25.10.2001.

Адрес для переписки:

141070, Московская обл., г. Королев, ул.
Пионерская, 4, ФГУП ЦНИИмаш, Отдел 5012

(72) Автор(ы):

**Козлов Виктор Григорьевич (RU),
Лаврентьев Виктор Григорьевич (RU),
Олейников Игорь Игоревич (RU),
Середин Сергей Вадимович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное унитарное
предприятие "Центральный научно-
исследовательский институт
машиностроения" (ФГУП ЦНИИмаш) (RU)**

(54) СПОСОБ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ И НА ЗЕМЛЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к космической технике и может быть использовано для защиты Земли от опасных космических объектов (КО). Осуществляют мониторинг космического пространства, выявляют и анализируют опасный КО, оценивают вероятность, место и время столкновения опасного КО с Землей и действующими космическими аппаратами (КА), по предварительной информации с учётом критерия минимума среднего риска оперативно доводят до центров управления космических систем, комплексов и правительств стран о возникающей угрозе. Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве и на Земле содержит главный информационно-аналитический центр, на объектах наземного фрагмента аппаратно-программные, информационные, лингвистические средства, системы приема, хранения, передачи, обработки, анализа, прогнозирования опасных ситуаций, радиолокационные, оптические, средства измерения, контроля и мониторинга опасных

ситуаций, сегмент мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства, сегмент по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности, сегмент анализа некоординатной информации о космических объектах, сегмент мониторинга астероидно-кометной опасности, вычислительные комплексы, серверы баз данных, автоматизированные рабочие места на базе компьютеров, подсистемы, базы данных по запускам КА, архива по КА и другими наблюдаемыми КО, реестра функционирующих КА и орбитальных группировок, по истории событий в околоземном пространстве, по каталогу КО риска, по техногенному засорению околоземного космического пространства, по траекторным измерениям и орбитальным данным КА и КО, с результатами определения орбит КО по измерительным данным, с результатами прогнозов времени и места падения КО, с результатами прогнозов опасных сближений неуправляемых КО с сопровождаемыми КА, по гелиогеофизическим параметрам атмосферы; с

параметрами констант, по моделям ненаблюдаемой фракции космического мусора; по нормативно-правовой документации по вопросам ограничения объемов космического мусора; объектов естественного происхождения с опасными орбитами для Земли и КА.

Изобретение позволяет снизить возможный ущерб при возникновении опасных ситуаций в космическом пространстве и на Земле от объектов техногенного и естественного происхождения. 2 н. и 9 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU 2570009 C1

RU 2570009 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014132472/11, 06.08.2014**

(24) Effective date for property rights:
06.08.2014

Priority:

(22) Date of filing: **06.08.2014**

(45) Date of publication: **10.12.2015** Bull. № 34

Mail address:

**141070, Moskovskaja obl., g. Korolev, ul.
Pionerskaja, 4, FGUP TsNIIImash, Otdel 5012**

(72) Inventor(s):

**Kozlov Viktor Grigor'evich (RU),
Lavrent'ev Viktor Grigor'evich (RU),
Olejnikov Igor' Igorevich (RU),
Seredin Sergej Vadimovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatie "Tsentral'nyj nauchno-
issledovatel'skij institut mashinostroeniya"
(FGUP TsNIIImash) (RU)**

(54) **WARNING OF DANGER IN NEAR-EARTH SPACE AND ON EARTH AND ACS TO THIS END**

(57) Abstract:

FIELD: aircraft engineering.

SUBSTANCE: space is monitored to reveal and analyse the dangerous space object. Probability, location and time of collision of the space object with the Earth and existing spaceships. Preliminary info with allowance for the minimum average risk criterion is transmitted in online mode to space system control centres, complexes and governments of the states to inform on originating danger. Claimed warning ACS comprises the main IAC. The Earth fragment comprises hardware-software, info, linguistic means, systems for reception, storage, transmission, processing, analysis and prediction of dangerous situations. Besides, it includes the radar, optical dangerous situation measurement, control and monitoring means. Also, it includes the components that follow, i.e. segment for monitoring of risks in low-orbit area of the near-Earth space, segment for computation of solar and geomagnetic activity parameters, segment for analysis of non-coordinate data on space objects, segment of monitoring the asteroid-comet danger, computation

complexes, servers of data bases, computer-aided workstations, subsystems, data bases on spaceship launching, archives on spaceships and other observed space objects of the register of operated spaceships and groups, on the history on the events in near-Earth space, in the catalogue of dangerous space objects, on man-made fouling of said near-Earth space, on trajectory measurements and orbital info on spaceships and space objects. Also, used are the results of space object orbit determination by the data of measurements, the results of space object fall time and location prediction, the results of prediction of the approach between uncontrolled space objects and controlled space objects with the help of heliogeophysical parameters of atmosphere. The parameters of constants are defined by means of space garbage unobserved fraction simulation models, reference-legal documents on limits of the volumes of space garbage, natural origin objects with orbits dangerous for the Earth and space objects.

EFFECT: decreased possible damages.

11 cl, 1 dwg

Изобретение относится к области автоматизированного информационного обеспечения руководства и правительственных органов Российской Федерации, при необходимости и других стран мира, для решения задач долгосрочного, среднесрочного, краткосрочного и оперативного мониторинга и прогноза разнообразных угроз и опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве и на Земле, исходящих от космических объектов техногенного происхождения, так называемого космического мусора, и от объектов естественного происхождения, представляющих собой астероидно-кометную опасность (АКО).

Известен ряд зарубежных систем предупреждения об опасных ситуациях различной природы в околоземном космическом пространстве и на Земле. Их них следует выделить гидрометеорологические системы, обычно развертываемые на низких приполярных геосинхронных (на приполярных геосинхронных орбитах в настоящее время функционируют около десятка метеоспутников, принадлежащих США (NOAA-K, DMSP5D-3), ЕКА (Метоп-А), Китаю (FY-1D, FY-3) и России (Метеор-М), и на геостационарной орбите, где размещаются космические аппараты (КА), созданные США (GOES), Евро союзом (Meteosat, MGS), Японией (MTSAT-1R), Индией (Metsat-1, Insat-3A), Китаем (FY-2C, D, E) и Россией (Электро-Л в 2010 г.), орбитах, обеспечивая метеорологический мониторинг и прогноз опасных метеоявлений.

Космические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представлены, в основном, весьма обширной номенклатурой КА: американскими (Landsat-7, EO-1, Ikonos-2, Quick Bird-2, Orb View-3, Geo Eye-1, World View-2, World View-3, USA-200); индийскими (IRS, Cartosat-2A, Risat, IMS-1); израильскими (EROS-B, EROS-C, TECSAR); французскими (Spot-5 и Jason-2); японскими (Adeos-1, Adeos-2, Alos); канадскими (Radarsat-1 и Radarsat-2); китайскими (HJ-1A, -1B, Yaogan-5); итальянскими (Cosmo-Skymed, Cosmo-3); европейскими (ERS-2, Envisat-1); малыми и микроКА Германии (TerraSar-X, Sar-Lupe, RapidEye); российским КА (Ресурс ДК). Такие страны, как Алжир, Бразилия, Нигерия, Тайвань, Таиланд, Турция, Южная Корея и ряд других стран, также располагают собственными спутниками наблюдения из космоса, созданными в кооперации с ведущими космическими державами.

Анализ такого типа проектов показывает, что, во-первых, информация от данных систем лишь частично может быть использована для решения задач мониторинга происходящих в литосфере геофизических процессов, что позволяет регистрировать в атмосфере и ионосфере лишь отдельные гелиофизические аномалии как предвестники крупных землетрясений. Во-вторых, все они ориентированы преимущественно на выявление разрушительных последствий стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций. Так, конечным результатом реализуемого по инициативе США «Группой по наблюдениям Земли» (GEO) на основе 10-летнего Плана (2005-2015 г.г.) международного проекта «Global Earth Observation System of Systems» (GEOSS) должна стать глобальная общедоступная инфраструктура, которая в масштабе времени, близком к реальному, должна обеспечить широкий круг пользователей всеобъемлющей, обработанной информацией космического мониторинга. При этом в GEOSS предполагается интегрировать разнообразную наземную датчиковую аппаратуру, метеостанции, метеозонды, сонары и радары, группировку из шестидесяти космических аппаратов (КА), включая навигационную группировку «NAVSTAR», мощный моделирующий комплекс для имитации и прогнозирования, а также средства раннего предупреждения населения подвергающихся опасности стран и регионов. Однако, хотя в рамках GEOSS и стало возможным объединить разнородные средства наблюдения и программное обеспечение для измерения физических, химических и биологических параметров,

характеризующих интегрированную картину происходящих на Земле потенциально опасных процессов, данный проект не использует орбитальные группировки КА, что ограничивает существенным образом возможности по решению продекларированных GEOSS задач мониторинга и прогноза опасных явлений природного и техногенного характера.

Международная система космического мониторинга стихийных бедствий (Disaster Monitoring Constellation - DMC) располагает низкоорбитальной группировкой на полярных орбитах из семи микроспутников британской разработки массой 80-130 кг, оснащенных многоспектральным оптико-электронным комплексом среднего разрешения 20-30 м. Возможности такой системы весьма ограничены - она способна регистрировать лишь состоявшееся сейсмическое или крупное техногенное событие, ориентирована на получение информации только в видимом диапазоне спектра и предназначена для оперативного обеспечения информацией компетентных организаций и специалистов только тех стран, на чьей территории чрезвычайная ситуация возникает.

Европейская инициатива «Глобальный мониторинг в интересах окружающей среды и безопасности» (Global Monitoring for Environment and Security - GMES) направлена на формирование собственного европейского мониторингового потенциала. В проекте участвуют Франция, Италия, Германия, Канада, Израиль и ряд профильных аэрокосмических компаний других стран. В рамках GMES, куда функционально включаются космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), навигации и связи, наземные станции и аналитические центры, планируется создание глобальной системы экологического мониторинга планеты. Орбитальная группировка GMES включает 13 КА наблюдения, в том числе КА: Gelios-2, Pleiades, Cosmo-SkyMed, SAR-Lupe, Spot-5, RapidEye, DMC2 (Topsat 2) и TerraSAR-X. С учетом того, что в 2008 году ЕКА приступило к развертыванию глобальной навигационной космической системы Galileo, оно располагает собственными космическими системами гидрометеорологии (9 КА), связи и ретрансляции (16 КА), в составе группировки GMES в отдельные периоды смогут функционировать более 70 КА. В будущем ЕКА планирует создание целого семейства спутников (среди них - КА Sentinel, ERS, ENVISAT, GOCE, SMOS, CryoSat-2, Swarm, ADM-Aeolus, Earth CARE, MSG, MetOp, JASON-2, PLEIADES), которые предполагается оснастить радаром С-диапазона (для интерферометрической съемки), оптической камерой среднего пространственного разрешения (для картографирования и гиперспектральной съемки), оптической аппаратурой и радиолокационным высотомером (для детального мониторинга океанских акваторий, атмосферы Земли). Хотя Проект GMES и располагает собственной орбитальной группировкой, он не предусматривает решения задач выявления предвестников и прогнозирования природных и техногенных бедствий, в том числе и не обеспечивает постоянный мониторинг и прогнозирование возникновения угроз одновременно от объектов техногенного происхождения и объектов АКО.

Инициированная в 2000 году ЕКА и Французским космическим агентством Международная хартия «Космос и крупные катастрофы» (International Charter «Space and Major Disasters»), к реализации которой присоединились космические агентства и организации Аргентины, Индии, Канады, США, Японии и России (российская заявка на присоединение к Хартии подана в январе 2010 года), направлена на создание единой системы космических данных, предназначенной для обеспечения необходимой информацией пострадавших в результате стихийных или антропогенных бедствий. Хотя орбитальный сегмент проекта и включает в себя национальные космические аппараты ДЗЗ государств-участников: ERS, ENVISAT (ЕКА), SPOT (Франция),

RADARSAT (Канада), IRS (Индия), GOES (США), SAC-C (Аргентина), ALOS (Япония), ввиду своей специфичной целевой направленности (скоординированного использования космической техники в случае возникновения природных или техногенных катастроф и предоставление пострадавшим странам бесплатных данных космического мониторинга) хартия не решает широкого спектра задач прогнозирования происходящих на планете стихийных бедствий.

Так, предложенный в 2004 году проект «Страж Азии» (SentinelAsia) предусматривает создание в Азиатско-тихоокеанском регионе (АТР) системы контроля и ликвидации последствий природных катастроф на основе использования возможностей космических технологий ДЗЗ в режиме времени, близком к реальному, в сочетании с ГИС-технологиями картографии и современными информационными технологиями глобальной сети «Интернет». Архитектура проекта разрабатывается с учетом возможности приема и обработки добровольно предоставляемой странами АТР видовой и текстовой информации, поступающей от спутниковых систем ДЗЗ, включая геостационарные платформы. Однако ввиду ограниченного состава бортовой аппаратуры используемых в проекте КА и специфики орбитального построения группировок, решение задач прогнозирования природных и техногенных явлений в глобальном масштабе в рамках проекта практически не представляется возможным.

Завершая анализ состояния и перспектив развития зарубежных космических систем и средств мониторинга чрезвычайных ситуаций, следует отметить невозможность осуществления вышеприведенными системами постоянного мониторинга техногенной обстановки в околоземном космическом пространстве (ОКП) опасных объектов космического мусора, а также отсутствие полноты мониторинга и критериев оценок степеней угроз по предупреждению об опасных ситуациях в ОКП и на Земле с учетом категорий объектов опасности, а именно исходящих от космических объектов техногенного происхождения - космических аппаратов и фрагментов космического мусора, а также от объектов естественного происхождения - астероидов, комет и других объектов, представляющих собой АКО.

Известен ряд отечественных систем предупреждения об опасных ситуациях различной природы в околоземном космическом пространстве и на Земле. К ним следует отнести в первую очередь «Единую государственную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (РСЧС) - учебно-методическое пособие, Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь, 2010 - [Д1], «Международную аэрокосмическую автоматизированную систему мониторинга глобальных геофизических явлений и прогнозирования природных и техногенных катастроф (МАКАСМ), патент 2349513 - [Д2], «Международную аэрокосмическую систему глобального мониторинга (МАКСМ), патент 2465729 - [Д3].

В основу технического решения создания системы РСЧС положен организационно-технический подход, заключающийся в обеспечении и выполнении следующих функционально-логических шагов [Д1, стр. 50]: установление уровней приемлемого риска, построение механизмов регулирования безопасности, мониторинг окружающей среды, анализ риска для жизнедеятельности населения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, принятие решений о целесообразности проведения мероприятий защиты, рациональное распределение средств на превентивные меры по снижению риска и меры по уменьшению масштабов чрезвычайных ситуаций, осуществление превентивных мер по снижению риска чрезвычайных ситуаций и уменьшению их последствий. Хотя данный подход и направлен, в основном, на совершенствование организационной структуры системы, однако он не обеспечивает оперативный и краткосрочный мониторинг и

прогноз разнообразных видов угроз и опасных ситуаций как в околоземном космическом пространстве, так и на Земле, не обладает полнотой мониторинга в условиях одновременного возникновения нескольких видов угроз и не содержит оценок степени угроз (критериев), на основе которых принимаются решения по осуществлению мер превентивного характера или уменьшению ущерба при ликвидации последствий катастроф и аварий.

В качестве другого аналога изобретения выбрано техническое решение, описанное в [Д2]. Система содержит космический и наземный сегменты. Космический сегмент состоит из трех орбитальных группировок. В орбитальной группировке малых космических аппаратов (МКА), расположенных на геостационарной орбите, МКА, объединенные в две орбитальные группировки по три спутника на вершинах двух треугольных плоскостей, образуют созвездие из шести вершин. Для орбитальной группировки в составе 3-4-х МКА на солнечно-синхронных орбитах высотой 600-700 км предусмотрено равномерное расположение плоскостей орбит по долготе восходящего узла. В орбитальной группировке из 50-ти микроспутников (МККА) последние расположены, в основном, на солнечно-синхронных орбитах и частично на геостационарных орбитах. На МКА и МККА установлена высокочувствительная аппаратура с комплексом приборов измерения предвестников землетрясений и датчиков оперативного контроля и прогнозирования природных и техногенных катастроф.

К основным недостаткам данного аналога следует отнести невозможность выявления, прогнозирования и выдачи предупреждений об опасных сближениях пилотируемых и автоматических космических аппаратов (КА) с объектами космического мусора, выработки рекомендаций по проведению маневров уклонения КА, прогнозирования входа в атмосферу и мест падения на поверхность Земли неуправляемых объектов космического риска, а также отсутствие полноты мониторинга и критериев оценок угроз по предупреждению об опасных ситуациях в ОКП и на Земле с учетом одновременного возникновения опасности от объектов разных категорий.

Наиболее близким по сути технического решения к заявляемому изобретению является патент [Д3], так как оно по множеству параметров имеет аналогичное предназначение и некоторые аналогичные основные возможности, что и заявленное.

В прототипе технический результат достигается тем, что для получения необходимой мониторинговой информации данная организационно-техническая система интегрирует в своем составе, наряду со специально создаваемым собственным специализированным космическим сегментом в составе КА-телескопов, группировку малых космических аппаратов (МКА) и микроспутников с бортовой аппаратурой обнаружения ранних признаков стихийных бедствий разрушительного характера, ресурсы как существующих, так и перспективных национальных и международных авиационных и наземных средств, включая контактные и дистанционные датчики, космические системы ДЗЗ, связи и ретрансляции, метеорологического и навигационного обеспечения вместе с соответствующей наземной инфраструктурой выведения, управления и технического обслуживания КА, средства приема, обработки и распространения мониторинговой информации, при этом указывается, что используются средства спутниковой связи (VSAT) и наземных интерактивных сетей передачи данных (Internet), выполненные с возможностью прогнозирования природных и техногенных катастроф,

К общим основным недостаткам как аналогов, так и данного прототипа следует отнести невозможность осуществления ими постоянного мониторинга техногенной обстановки ОКП в части выявления, прогнозирования и выдачи предупреждений об опасных сближениях сопровождаемых пилотируемых и автоматических КА с объектами

космического мусора, выработки рекомендаций по проведению маневров уклонения КА, прогнозирования входа в атмосферу и мест падения на поверхность Земли неуправляемых объектов космического риска, выполнения международных обязательств РФ по проблемам, связанными с угрозами от космических объектов разных категорий, а также отсутствие полноты мониторинга и критериев оценок угроз в части 5 предупреждения об опасных ситуациях в ОКП и на Земле с учетом категорий объектов опасности, а именно исходящих от космических объектов техногенного происхождения - космических аппаратов и фрагментов космического мусора, а также от объектов естественного происхождения - астероидов, комет и других объектов, представляющих 10 собой астероидно-кометную опасность. В дополнение к этому, предлагаемые в прототипе средства спутниковой связи (VSAT) и наземных интерактивных сетей передачи данных (Internet) всегда используются в стандартном исполнении и по своему прямому назначению, у них не имеется и не предвидится внедрения специфических встроенных технологий прогнозирования природных и техногенных катастроф по причине 15 отсутствия соответствующих алгоритмов, оборудования, программных процессов, процедур и средств ведения баз данных, что относится по сути к специфическим задачам и средствам систем прогнозирования.

Технический результат предложенного изобретения заключается в том, что в нем проявляется целостность и эмерджентность системного подхода, а также достигается 20 полнота мероприятий по мониторингу космического пространства за счет применения структурированного подхода, специально разработанного и применяемого для уменьшения риска критерия минимума среднего риска, совокупности присущих данному способу действий в виде алгоритмов прогнозирования и использования разработанных для этого соответствующих программных процессов, процедур, из которых формируют 25 программные комплексы, базы данных как основных компонентов реализующей данный способ автоматизированной системы, обеспечивающей сбор, обработку, хранение и передачу целевой мониторинговой информации и выработку рекомендаций для принятия решений по предупреждению и снижению возможного ущерба при возникновении опасных ситуаций в космическом пространстве и на Земле от объектов 30 техногенного и естественного происхождения.

Сущность изобретения заключается в том, что, в отличие от известного технического решения, в конфигурации наземного фрагмента организационно и функционально выделяют структурно-функциональные элементы в составе главного информационно-аналитического центра, сегмента мониторинга опасных ситуаций в области 35 геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит, сегмента мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства, сегмента по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности, сегмента анализа некоординатной информации о космических объектах и сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности, при этом на средствах главного 40 информационно-аналитического центра с помощью соответствующих программных процессов и процедур собирают, обрабатывают, анализируют, систематизируют, каталогизируют и хранят информацию об опасных и угрожающих космических объектах, получаемую от космических и наземных систем мониторинга и из других доступных источников, осуществляют ведение баз орбитальных и справочных данных 45 сопровождаемых космических аппаратов, потенциально опасных техногенных космических объектов, прогнозируют опасные сближения и оценивают вероятности столкновения потенциально опасных космических объектов с сопровождаемыми космическими аппаратами, осуществляют баллистическое сопровождение

прогнозируемых опасных сближений потенциально опасных космических объектов с сопровождаемыми космическими аппаратами, выявляют факты схода с орбиты космических объектов риска, включая их баллистическое сопровождение, прогнозирование времени и районов падения на Землю, систематизируют, прогнозируют и определяют траектории полетов опасных объектов, а также оценивают значения вероятностей, время и место столкновений потенциально опасных объектов естественного происхождения с действующими космическими аппаратами и с Землей, с использованием критерия минимума среднего риска и с учетом предварительной информации от сегментов о потенциально опасных космических объектах и прогнозируемых опасных ситуациях формируют предупреждения об опасных ситуациях, оперативно доводят до центров управления космических систем и комплексов, а при необходимости - до руководства и правительственных органов Российской Федерации и других стран мира, информацию о фактах возникновения угроз и прогнозе развития опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве и на Земле; применяют критерий минимума среднего риска, в соответствии с которым при выявлении преимуществ путем сравнения нескольких потенциальных вариантов принятия решений используют выражение для оценки стоимости \bar{s} среднего риска:

$$\bar{s} = s_{10}P(A_0)[1 - (\bar{F} - l_0\bar{D})],$$

где: s_{10} - стоимость ложной тревоги, то есть стоимость проведения маневра;

$P(A_0)$ - вероятность отсутствия столкновения;

F - условная вероятность ложной тревоги;

$$l_0 = \frac{s_{01}P(A_1)}{s_{10}P(A_0)} - \text{весовой множитель};$$

s_{01} - стоимость пропуска столкновения, то есть стоимость ущерба;

$P(A_1)$ - вероятность столкновения;

\bar{D} - условная вероятность пропуска столкновения,

по которому выбирают в качестве оптимальной тот вариант предупреждения об опасных ситуациях, у которого наименьшая вероятность ложной тревоги среди сравниваемых вариантов с учетом того, что условная вероятность пропуска столкновения у остальных вариантов не больше, чем у оптимального, при этом

учитывают, что минимум стоимости \bar{s} среднего риска достигают устремлением к максимуму выражения $\bar{F} - l_0\bar{D} = \max$, в связи с чем заменяют последнее на интеграл:

$$\bar{F} - l_0\bar{D} = \int_{-\infty}^{\infty} p_{KA}(y)A^*(y)[l(y) - l_0]dy$$

где: \bar{F} - условная вероятность отсутствия столкновения;

$$l_0 = \frac{s_{01}P(A_1)}{s_{10}P(A_0)} - \text{весовой множитель};$$

\bar{D} - условная вероятность пропуска столкновения;

$p_{KA}(y)$ - плотность вероятности положения космического аппарата в пространстве;

$l(y) = \frac{P_{КО}(y)}{P_{КА}(y)}$ - отношение правдоподобия, характеризует, какую из гипотез о

выполнении указанных взаимоисключающих условий следует считать более правдоподобной;

$p_{КО}(y)$ - плотность вероятности положения опасных космических объектов в пространстве,

получают наибольшее значение подынтегрального выражения за счет выбора решающей функции $A^*(y)$, которая может принимать только два значения: 0 или 1, так, что подынтегральное выражение либо обращается в ноль, либо умножается на единицу, для чего полагают:

- $A^*(y)=1$, если подынтегральное выражение при этом положительно;

- $A^*(y)=0$ в противном случае,

и принимают решение на основе критерия $A^*(y) = \begin{cases} 1, \text{ если } l(y) > l_0 \\ 0, \text{ если } l(y) < l_0 \end{cases}$, то есть если

отношение правдоподобия превышает пороговую величину l_0 , то принимают решение об отсутствии опасной ситуации, если отношение правдоподобия меньше пороговой величины l_0 , то принимают решение о наличии опасной ситуации; на средствах сегмента мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит с помощью соответствующих программных процессов и процедур собирают, обрабатывают, анализируют, систематизируют, каталогизируют и хранят мониторинговую информацию о космических объектах в области ответственности сегмента, получаемую от космических и наземных средств наблюдения, осуществляют ведение базы данных о космических объектах и опасных событиях в области ответственности сегмента, регулярно обновляют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию об уточненных параметрах орбит космических объектов, прогнозируют и передают в главный информационно-аналитический центр данные об опасных сближениях сопровождаемых космических аппаратов, а также с конкретными потенциально опасными космическими объектами, формируют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию о выявленных фактах разрушений космических объектов в области ответственности сегмента; на средствах сегмента мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства с помощью соответствующих программных процедур осуществляют ведение каталога космических объектов в указанной области по информации от Центра контроля космического пространства, регулярно обновляют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию об уточненных параметрах орбит для конкретных космических объектов в низкоорбитальной области, прогнозируют и передают в главный информационно-аналитический центр данные об опасных сближениях сопровождаемых космических аппаратов с потенциально опасными космическими объектами, сопровождадут сходы с орбит космических объектов риска, последних ступеней ракет-носителей, в том числе разгонных блоков, космические аппараты «Союз» и «Прогресс» и других объектов, формируют и передают в главный информационно-аналитический центр с заданной периодичностью сообщения о временах прекращения существования падающих космических объектов риска, формируют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию о выявленных фактах разрушений космических объектов в области низких орбит околоземного космического пространства; на средствах сегмента по расчету параметров солнечной

и геомагнитной активности с помощью соответствующих программных процессов и процедур подготавливают и выдают в главный информационно-аналитический центр результаты краткосрочного и среднесрочного прогнозирования индексов солнечной и геомагнитной активности; что на средствах сегмента анализа некоординатной информации о космических объектах с помощью соответствующих программных процессов и процедур принимают, анализируют и обрабатывают некоординатную информацию от средств мониторинга околоземного космического пространства, осуществляют ведение базы данных некоординатной информации по сопровождаемым космическими аппаратами, контролируют состояния сопровождаемых космических аппаратов в нештатных и аварийных ситуациях, передают в главный информационно-аналитический центр результаты контроля состояния сопровождаемых космических аппаратов; на средствах сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности с помощью соответствующих программных процессов и процедур собирают, обрабатывают, анализируют, систематизируют, каталогизируют и хранят информацию о потенциально опасных астероидах и кометах, получаемую и пополняемую из баз данных, например, Центра малых планет, основных обсерваторий мира, Российской и Международной виртуальных обсерваторий, осуществляют ведение баз данных об опасных астероидно-кометных телах и опасных событиях в зоне ответственности сегмента, регулярно обновляют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию об уточненных параметрах орбит этих объектов, прогнозируют и передают в главный информационно-аналитический центр данные об опасных сближениях объектов астероидно-кометной опасности с сопровождаемыми космическими аппаратами и с Землей; при реализации способа средствами автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве и на Земле ее аппаратно-программные, информационные и лингвистические средства в таких выделенных функционально-структурных элементах конфигурации системы, как главный информационно-аналитический центр, сегмент мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит, сегмент мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства, сегмент по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности, сегмент анализа некоординатной информации о космических объектах и сегмент мониторинга астероидно-кометной опасности, объединяют в рамках каждого структурного элемента в локальную вычислительную сеть, при этом в главном информационно-аналитическом центре и во всех сегментах системы устанавливают вычислительные комплексы, серверы баз данных, автоматизированные рабочие места на базе компьютеров, а также разворачивают подсистемы, например, коммуникационную, решения целевых задач, формирования, отображения и передачи выходной информации, сбора и хранения информации, причем локальные вычислительные сети объединяют средствами инфокоммуникаций в территориально-распределенную сеть; при этом в состав средств главного информационно-аналитического центра и выделенных сегментов включают аппаратно-программные, информационные и лингвистические средства, а также необходимые программные комплексы, программные процессы и процедуры, обеспечивающие выполнение операций приема, хранения, передачи, обработки, анализа, прогнозирования опасных ситуаций, в том числе реализацию алгоритма вычисления средних значений точности определения положений космических объектов риска за определенное время до столкновений с ними на основе критерия минимума среднего риска, при этом локальную сеть сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности связывают по

- Интернету с базами данных, например, Центра малых планет при Международном астрономическом союзе (Кембридж, Массачусетс), основных обсерваторий мира, с Российской и Международной виртуальными обсерваториями; в состав подсистемы сбора и хранения информации включают основные информационные средства,
- 5 именуемые базами данных - БД, необходимые для обеспечения полноты и постоянного мониторинга и функционирования системы и ее структурных элементов в соответствии с выполняемыми ими задачами, например:
- БД по запускам космических аппаратов;
 - БД (архив данных) по космическим аппаратам и другим наблюдаемым космическим
 - 10 объектам техногенного происхождения с основными их характеристиками;
 - БД (реестр) функционирующих космических аппаратов и орбитальных группировок;
 - БД по событиям, произошедшим в околоземном космосе в результате космической деятельности (взрывы, опасные сближения, плановые маневры и стыковки и их результаты, сходы с орбиты и т.п.);
 - 15 - БД (каталог) космических объектов риска, находящимися на этапе завершения орбитального полета;
 - БД (каталог) по опасным космическим объектам, сближающимся с МКС и другими сопровождаемыми космическими аппаратами;
 - БД по техногенному засорению околоземного космического пространства и
 - 20 мероприятиям, противодействующим накоплению космического мусора;
 - БД по траекторным измерениям и орбитальным данным космических аппаратов и космическим объектам, поступающим от разных источников информации;
 - БД с результатами определения орбит космических объектов по измерительным данным,
 - 25 - БД с результатами прогнозов времени и места падения космических объектов, сходящих (сошедших) с орбиты;
 - БД с результатами прогнозов опасных сближений неуправляемых космических объектов с сопровождаемыми космическими аппаратами;
 - БД по гелиогеофизическим параметрам атмосферы;
 - 30 - БД с параметрами используемых геодинимических моделей, астрономических, геодезических и других констант и данных, используемых при решении баллистико-навигационных задач полета космических объектов;
 - БД по моделям ненаблюдаемой фракции космического мусора;
 - БД нормативно-правовой документации по вопросам ограничения объемов
 - 35 космического мусора;
 - БД (пополняемый каталог) объектов естественного происхождения (астероидов, комет и других объектов), орбиты которых опасно пересекают орбиту Земли и орбиты сопровождаемых космических аппаратов; главный информационно-аналитический центр и выделенные сегменты оснащают совместимыми версиями операционных систем
 - 40 и аппаратно-программными платформами, как правило, одного разработчика (производителя), на которых строят и объединяют в сеть информационно-вычислительные комплексы, серверы обработки целевой информации, серверы баз данных для работы с соответствующими базами данных и автоматизированные рабочие места.
 - 45 Заявленные способ предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве и на Земле и автоматизированная система для его осуществления поясняется фигурой 1. На фигуре 1 представлены структурно-функциональные элементы автоматизированной системы предупреждения об опасных

ситуациях в околоземном космическом пространстве и на Земле, причем на фигуре 1 и в тексте приняты следующие обозначения:

- 1 - главный информационно-аналитический центр (ГИАЦ);
- 2 - сегмент мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит;
- 3 - сегмент мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства;
- 4 - сегмент по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности;
- 5 - сегмент анализа некоординатной информации о космических объектах;
- 6 - сегмент мониторинга астероидно-кометной опасности;
- 7 - программные комплексы, процессы и процедуры;
- 8 - база данных;
- 9 - Интернет;
- 10 - базы данных Центра малых планет, основных обсерваторий мира, Российской и Международной виртуальных обсерваторий и другие.

Функционирование автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве и на Земле (АСПОС ОКП) рассмотрим на примере обобщенного анализа ее использования при решении задач предупреждения об опасных ситуациях. Основными возлагаемыми на автоматизированную систему функциями являются своевременное выявление опасных сближений и фактов возникновения и прогноза развития опасных ситуаций в ОКП и на Земле с последующим оперативным информированием оперативного дежурного информатора службы организации оперативных работ, Центров управления полетами (операторов) космических систем (комплексов), главной оперативной группы управления МКС, в том числе, руководства ФГУП ЦНИИмаш, Центрального информационного пункта Роскосмоса и др.

Основные задачи, решаемые на средствах АСПОС ОКП, являются следующие.

1. Сбор (из разных доступных источников 8, 10), обработка и каталогизация информации о космических объектах техногенного и естественного происхождения, в том числе, и информации, касающейся обстоятельств запуска КА.
2. Выявление и постоянный контроль за полетом КА и КО, представляющих потенциальную опасность для МКС, пилотируемых и других функционирующих КА, выработка рекомендаций по принятию мер, исключающих или снижающих степень возникновения критических ситуаций.
3. Выявление снижающихся КА и КО и прогнозирование времени их баллистического существования на орбите. Определение особо опасных из снижающихся объектов и тщательное сопровождение их с использованием всех возможных отечественных и зарубежных средств слежения с целью получения наиболее точного расчета возможных районов падения несгоревших в атмосфере фрагментов КА и КО.
4. Сбор, обработка, анализ и предоставление информации о состоянии контролируемых космических аппаратов на определенных этапах их полета и при возникновении некоторых нештатных ситуаций.
5. Анализ и оценка состояния в ОКП и на Земле с целью выявления и прогноза опасных и чрезвычайных ситуаций.
6. Оперативное формирование и доведение информации о фактах возникновения опасных и чрезвычайных ситуаций в ОКП до руководства Роскосмоса, а в случае необходимости - до МЧС России, МИД РФ и других заинтересованных министерств, ведомств и организаций в соответствии с согласованными протоколами

информационного взаимодействия.

7. Оперативное взаимодействие и обмен данными по вопросам техногенного засорения ОКП и слежения за КО с РАН и другими организациями и ведомствами РФ.

8. Оперативное взаимодействие и обмен данными по вопросам обстановки в ОКП и на Земле с космическими агентствами и организациями зарубежными странами, в том числе, с IADC и организациями НАСА, ЕКА и др.

9. Формирование и передача в согласованном виде и установленном порядке данных для изменения режимов работы измерительных средств, осуществляющих слежение за космическими объектами при возникновении опасных и чрезвычайных ситуаций в соответствии с принятыми соглашениями и другими нормативно-правовыми документами, регламентирующими совместные работы.

10. Анализ имевших место событий.

11. Оценка уровня «засоренности» ОКП на траекториях вывода и полета КА. Выработка рекомендаций по выбору параметров запусков, осуществляемых Роскосмосом.

12. Подготовка данных для анализа и оценки состояния орбитальных систем КА, «заселенности» области геостационарной орбиты и других районов ОКП, представляющих интерес для космической деятельности Роскосмоса.

13. Информационное обеспечение участия Российской Федерации (Роскосмоса) в международных проектах, тестовых кампаниях и в работе международных организаций в части, касающейся засорения ОКП объектами техногенного и естественного происхождения и безопасности космических полетов.

14. Сбор, каталогизация, систематизация, анализ и подготовка исходной информации для проведения исследований и проектных работ по вопросам, связанным с техногенным и естественным засорением ОКП, включая область ГСО, безопасностью космических полетов и сходом с околоземной орбиты КО повышенного риска.

15. Совершенствование моделей и методов, используемых при контроле космического пространства, с целью обеспечения мониторинга, адекватного состоянию научных знаний и развитию космической техники.

Использование АСПОС ОКП сопровождается выполнением на средствах системы информационно-вычислительных работ путем запуска программных комплексов 7 по сбору, обработке, анализу, систематизации и каталогизации информации о КО и обстановке в ОКП, получаемой из всех доступных источников 8, 10.

Собираемые данные включают различные виды информации, в том числе информацию о сближениях потенциально опасных КО с сопровождаемыми КА, а также с Землей; координатную информацию о КО - в виде первичных измерений и в виде параметров орбит; некоординатную информацию о КО - в виде результатов фотометрических, спектральных и других измерений; описательную в текстовом (формализованном или неформализованном, а также в графическом и других видах представления).

Собранные в каждом конкретном сегменте 2-6 данные и информацию обрабатывают на информационно-вычислительных комплексах и серверах сегментов, иницируя для этого выполнение программных процессов и процедур из состава соответствующих программных комплексов 7.

После обработки, анализа и систематизации информации осуществляют ее запись в соответствующие базы данных 8 АСПОС ОКП. В общем случае, комплекс баз данных АСПОС ОКП - это комплекс разноплановых баз данных от архивов, содержащих сведения о космических объектах и событиях в ОКП, до БД с измерениями текущих

навигационных параметров космических объектов, которые поступили от различных измерительных средств, а также из баз данных 8 с результатами решения целевых задач АСПОС ОКП. В частности, в комплексе БД АСПОС ОКП содержится информация о запусках космических аппаратов, данные о космических объектах, находящихся в
5 разных областях ОКП, сведения о произошедших или прогнозируемых событиях, связанных с КО, а так же орбитальные данные, поступающие из разных источников 10, результаты решения целевых задач на средствах ГИАЦ 1.

Для поддержания в актуальном состоянии БД 8 ГИАЦ 1, содержащих сведения о запусках КА и информационные данные о различных КО, постоянно просматриваются
10 многочисленные открытые источники 10 информации, в том числе:

- официальные сайты космических агентств;
- официальные сайты производителей ракетно-космической техники;
- официальный сайт Центра данных по ракетам и спутникам (World Data Center for Satellite Information);

15 - ежеквартальные отчеты, «Orbital Debris, Quarterly News», доступные на одном из сайтов NASA;

- печатные издания: журналы (отечественные, например, «Новости космонавтики», «Ракетно-космическая техника» и иностранные), специализированные еженедельники (Space News) и т.п.

20 После сбора всей доступной информации проводится ее тщательный анализ. Все вновь выявленные в ОКП космические объекты каталогизируются в БД 8 ГИАЦ 1. На основе анализа принимается решение о том, какие сведения о вновь каталогизированных КО вносить в БД 8. В дальнейшем, информация, записанная в БД 8, дополняется и уточняется по мере появления новых данных о запусках КА, о характеристиках
25 КО и т.п.

В БД 8 ГИАЦ 1 собирают также информацию по КО и событиям в околоземном космическом пространстве, которая позволяет проводить сверку каталога ГИАЦ 1 АСПОС ОКП и каталогов 10 ведущих зарубежных космических организаций. Для еженедельной сверки каталогов в качестве источника информации о КО выбран «Satellite
30 Situation Report» (SSR), формируемый Космическим командованием ВВС США и доступный для зарегистрированных пользователей в виде файла на сайте <https://www.space-track.org>. Однако в связи с некоторой неоднозначностью информации в SSR возможно возникновение ситуации, когда в характеристиках учета КО возникают противоречия, устранить которые возможно только путем анализа информации,
35 полученной из других источников. Например, вновь каталогизированному КО ошибочно присвоено уже использованное ранее международное обозначение или каталогизированному КО присвоено неверное международное обозначение (чаще всего это относится к мелкоразмерной фракции космического мусора, когда в процессе анализа архива орбитальной информации выявляется, что образование объекта связано
40 с другим запуском). Кроме того, не все сведения о КО, которые хранятся в БД ГИАЦ 1 АСПОС ОКП, содержатся в SSR, такие данные, как назначение КА, его масса и размеры, могут сравниваться с данными из Common Database - базы данных, доступной для членов IADC, на сайте <http://mas15.esoc.esa.de:8000/>.

Одним из основных источников информации по КО и событиям в ОКП для ГИАЦ
45 1 АСПОС ОКП является Центр контроля космического пространства (ЦККП) РФ. К настоящему времени организовано регулярное поступление из ЦККП сообщений, содержащих как данные о текущих параметрах орбиты КО из согласованного списка, так и информацию о КО, которые находятся на этапе схода с орбиты (когда до момента

прекращения их орбитального существования по прогнозу остается менее 90 дней), и о прогнозируемых опасных сближениях сопровождаемых КА с КО «риска». Вся информация из ЦККП поступает в виде согласованных типовых сообщений.

5 Так, измерительные данные от средств траекторного радиоконтроля НКУ и от аппаратуры спутниковой навигации по сопровождаемым объектам, регулярно поступают в БД различных комплексов системы. После проведения уточнения орбит, с использованием полученной измерительной информации, данные об уточненной орбите КА могут, при необходимости, использоваться в интересах АСПОС ОКП. Например, в настоящий момент после каждого уточнения орбиты Международной
10 космической станции (МКС), уточненный вектор состояния этого объекта в автоматическом режиме записывается в комплекс БД ГИАЦ 1 АСПОС ОКП.

Для того чтобы БД ГИАЦ АСПОС ОКП содержали полную и достоверную информацию по КО и событиям в околоземном космическом пространстве, необходимо использование информации и от ведущих зарубежных космических организаций. В
15 первую очередь, это относится к Системе Контроля Космического пространства США. В настоящий момент орбитальные данные (в формате TLE), формируемые на основе измерений СККП США и доступные для зарегистрированных пользователей на сайте <http://www/space-track/org/>, дважды в сутки в автоматическом режиме записываются в комплекс БД ГИАЦ 1.

20 Во время проведения международных тестовых кампаний по сопровождению схода с орбиты КО риска для членов IADC, на сайте <http://mas15.esoc.esa.de:8000/> становится доступной база данных по падающим объектам, в которую участники этих тестовых кампаний могут записывать орбитальные данные в формате TLE, а в последнее время и в виде векторов состояния или элементов орбиты КО. Эти орбитальные данные также
25 обрабатываются и записываются в БД ГИАЦ 1 АСПОС ОКП.

В комплексе БД ГИАЦ 1 АСПОС ОКП имеется целый ряд архивов, предназначенных для накопления и долговременного хранения информации. Вся измерительная информация, получаемая ГИАЦ 1 АСПОС ОКП, после соответствующего анализа систематизируется и попадает в эти архивы.

30 Покажем возможность осуществления изобретения, т.е. возможность его промышленного применения.

Приказом руководителя Федерального космического агентства от 23.11.2012 г. №240 принята в опытную эксплуатацию первая очередь автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве
35 (АСПОС ОКП). Таким образом, в составе наземного фрагмента АСПОС ОКП развернуты и функционируют аппаратно-программные комплексы, информационные системы и средства, компоненты из состава так называемого специального математического обеспечения (СМО).

Для обеспечения функционирования осуществляющей данный способ
40 автоматизированной системы к настоящему времени в рамках СМО разработаны, запрограммированы и апробированы пакеты программ, программные комплексы, процессы и процедуры по обработке целевой мониторинговой информации об опасных объектах техногенного и естественного происхождения. Структура данного СМО в целом соответствует конфигурации автоматизированной системы, то есть имеются
45 соответствующие части СМО, размещаемые как на средствах главного информационно-аналитического центра 1, так и на средствах всех сегментов 2-6 системы. При этом каждая из частей СМО представляет собой программную реализацию определенной системы методик и алгоритмов по обработке присущей данному сегменту целевой

мониторинговой информации.

В целом, программные комплексы, процессы и процедуры имеют государственную регистрацию. Так, на «Программный комплекс визуализации космической обстановки и опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве» выдано свидетельство о государственной регистрации №2013612415 от 27.02.2013, на «Программный комплекс выявления потенциально опасных объектов для контролируемых космических аппаратов» выдано свидетельство о государственной регистрации №2013612416 от 27.02.2013. Программа формирования телеграмм с баллистической информацией для обеспечения управления Международной космической станцией имеет свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014611069 от 23.01.2014. Программа формирования стандартной баллистической информации для Международной космической станции имеет свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014612289 от 24.02.2014.

Реализуемость СМО сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности может быть осуществлена на основе программ собственной разработки, либо на основе использования разработанной сотрудниками университета штата Аризона (США) программы расчета последствий столкновений Земли с кометами и астероидами, которая называется Earth Impact Effects Program. Программой может воспользоваться любая, зайдя на сайт <http://www.lpl.arizona.edu/impacteffects/>. Методика расчета описана в работе [Collins et al., 2005].

Реализуемость наземного сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности не вызывает сомнений. Так, в РФ уже существует сеть роботизированных телескопов МАСТЕР (Государственный астрономический институт имени Штернберга), входящая в Международную систему оповещения о гамма-всплесках. Они расположены в Кисловодске, Кауровке (под Екатеринбургом), в Иркутском университете, в Благовещенске, под Москвой (Востряково) и в Аргентине. Предполагается установить телескоп в Южной Африке и на острове Тенерифе (Канарские острова). Это 40-сантиметровые телескопы с полем зрения $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ и проникающей способностью 20m.

Разнесенные по долготе телескопы МАСТЕР позволяют в зимнее время вести практически круглосуточное наблюдение в Северном полушарии во всем оптическом диапазоне длин волн (от синего до ближнего инфракрасного). В случае попадания в поле зрения телескопа неизвестного объекта, которого нет в каталоге звезд, проводится его съемка и, если он идентифицируется как астероид, данные передаются в Центр малых планет, где по базе данных определяется, известный это объект или нет. Если объект новый, об этом сообщается всем обсерваториям.

Давно работают 10-метровые телескопы на Гавайях, на Канарских островах, 11-метровый в ЮАР, 12-метровый в Чили. Следует отметить, что наиболее удачным местом для продолжительного наблюдения объектов в Южном полушарии является Антарктида с ее благоприятным астроклиматом, где уже имеется американский 10-метровый телескоп на высоте около 4 тыс м и разворачивается китайская автоматическая обсерватория PLATO-A в самой высокой точке. Планируется создание телескопов следующего поколения, оснащенных сегментированными зеркалами (так как с увеличением диаметра зеркал непомерно растет их вес): гигантского 24-метрового телескопа «Магеллан» (GMT), 30-метрового (ТМТ) и «Исключительно большого телескопа» (OWL) со 100-метровым зеркалом и разрешением 0.001 угловой секунды, который проектируется для Европейской южной обсерватории в Чили. Все они начнут работать в 2016-2018 гг.

Реализуемость космического сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности

также не вызывает сомнений. Очевидно, что требования к схеме построения и поисковым
 возможностям космического сегмента наблюдения околоземного космического
 пространства в значительной мере зависят от опасности объектов АКО и их
 характеристик, а отсюда и от требуемой оперативности их регистрации и мониторинга,
 а также от технической возможности космических телескопов и схемы их расположения.
 5 Так, подобной системой является возможный вариант системы наблюдения в проекте
 "Конус", который предусматривает размещение, по крайней мере, одного КА с
 телескопом на гелиоцентрической орбите, совпадающей с земной, в 10-15 млн км от
 Земли. Если зона наблюдения будет иметь угловые размеры около 60°, то подлежащая
 10 контролю площадь небесной сферы уменьшится почти на порядок по сравнению с
 наземными наблюдениями. Предложенное в проекте "Конус" размещение КА-телескопа
 позволит регистрировать астероиды, приближающиеся со стороны Солнца, которые
 наблюдать с Земли вообще невозможно.

С помощью оптико-электронных средств наблюдения в составе КА-телескопов
 15 сканирование рассматриваемой зоны может осуществляться с интервалом в несколько
 часов, достаточным для оперативного оповещения об опасности. Наблюдения в ИК-
 и УФ-диапазонах значительно расширят информацию о наблюдаемых объектах. Для
 контроля "мертвой зоны", возникающей при засветке Землей и Луной, можно будет
 использовать наземные средства или КА-телескопы, работающие на околоземной
 20 орбите. Эти же средства помогут обнаружить опасные тела в метеорных потоках.
 Уточнение траекторных и другие характеристик возможно радиолокационными
 средствами с применением методов радиоинтерферометрии. Базовыми для построения
 системы "Конус", как и других КА-систем, могут стать созданные в НПО им. С.А.
 Лавочкина и прошедшие натурную отработку КА типа "Око", "Аркон" и перспективные
 25 астрофизические космические обсерватории "Спектр" (журнал «Земля и Вселенная»,
 1997, №2; 1999, №2; 2000, №4 - [Д13]), а также КА, разработанные в других организациях
 и странах.

Реализуемость процессов синхронизации по времени может быть обеспечена,
 например, патентом №2240265 «Способ определения точного времени появления
 30 небесного явления», - [Д14].

Реализуемость свойства интероперабельности БД может быть осуществлена,
 например, на основе рекомендаций книги «Телекоммуникационные технологии и сети»,
 авторы И.П. Норенков, В.А. Трудоношин, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 1999, -
 [Д16], а также статьи Е.В. Франгуловой «Классификация подходов к интеграции и
 35 интероперабельности информационных систем». Вестник АГТУ, серия «Управление,
 вычислительная техника и информатика», 2010. №2, - [Д17].

Реализуемость вычислений фрагментов орбит полетов космических объектов по
 нескольким измерениям подтверждается патентами №№2150414 - [Д18], 2027144, -
 [Д19]. Технические средства, реализующие данный способ, описаны в источниках
 40 информации: «Распознавание в системах автоконтроля» / Шибанов Г.П., М.:
 Машиностроение, 1973, с. 176-188, - [Д20]; «Голографическое опознавание образов» /
 Василенко Г.И., М.: Советское радио, 1977, рис. 4.21, с. 282-283, - [Д21], а также
 описанием в научном журнале «Американского Института Аэронавтики и
 Астронавтики» (US) в публикации Mark Psiaki «Autonomous orbit determination for two
 45 spacecraft from relative position measurements») за номером AIAA-98-4560, опубликованной
 10.08.1998, - [Д22]; его адрес в Интернете: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.1998-4560>.

Специально разработанный критерий - минимум среднего риска - приведен в статье
 «Обоснование требований к системам предупреждения об опасных ситуациях в ОКП

на основе критерия минимума среднего риска», авторы: к.т.н. И.И. Олейников, П.В. Новиков / Ж. «Космонавтика и ракетостроение», ЦНИИмаш, №4, 2012 г., стр. 199-206, - [Д23], копия которой приведена в материалах Приложения 1.

5 Осуществление процессов вычислений фрагментов орбит полетов космических объектов мониторинга по нескольким измерениям, а также расчет последствий столкновений Земли с объектами АКО выполняются соответствующими программами реализации определенной системы методик и алгоритмов по обработке на
10 вычислительных средствах главного информационно-аналитического центра данных и целевой информации мониторинга, результаты выполнения которых учитывают при анализе и выработке рекомендаций по принятию решений в целях предупреждения и снижения возможного ущерба в условиях возникновения опасных ситуаций в ОКП и на Земле.

Примечание.

15 Заявитель поместил в Приложениях 1 и 2 к материалам заявки дополнительные сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения, чтобы излишне не перегружать описание изобретения. Однако, если экспертиза сочтет целесообразным, заявитель не будет возражать на включении Приложений в состав описания.

Приложение 1

20 Обоснование требований к системам предупреждения об опасных ситуациях в ОКП на основе критерия минимума среднего риска.

И.И. Олейников, к.т.н, П.В. Новиков (ЦНИИ машиностроения)

Представляется подход для определения и обоснования оптимальных характеристик системы предупреждения об опасных ситуациях для решения вопросов, связанных с выявлением, сопровождением и оценкой риска возможных опасных сближений в ОКП,
25 основанный на критерии минимума среднего риска.

К настоящему времени в околоземном космическом пространстве (ОКП) накопилось (по данным различных источников) более 3000 тонн техногенного вещества. Общее количество обнаруженных и сопровождаемых объектов с диаметром более 10 см приближается к 22 тысячам. Из них порядка 1000 - действующие космические аппараты
30 разных стран. Число тел размером от 1 см до 10 см достигло 600 тыс.

Пока количество вероятных столкновений двух КО не велико, но с каждым годом вероятность столкновений неуправляемых космических объектов с «защищаемыми» космическими объектами будет возрастать.

35 Наиболее сложной задачей для системы предупреждения об опасных ситуациях является выявление, сопровождение и оценка риска возможных сближений КО с «защищаемыми» КА. При этом в течение определенного времени безопасности КА могут угрожать десятки космических объектов (размерами более 1 см), в числе которых могут быть как неуправляемые космические объекты, так и функционирующие КА, также возможны десятки, сотни сближений КА с объектами риска (каждый «КО риска»
40 может сближаться с КА на нескольких витках подряд). Поэтому именно эта задача предъявляет самые жесткие требования к характеристикам системы.

При обеспечении безопасности полета КА основной задачей системы предупреждения об опасных ситуациях является не пропустить ни одно из возможных столкновений. При выполнении этого условия, существует две крайности:

45 - считать, что вероятность столкновения пренебрежимо мала и в активных действиях по парированию возможного столкновения нет необходимости. В этом случае сохраняется вероятность потери аппарата.

- при каждом сближении «защищаемого» КА с «КО риска» принимать решение, что

будет столкновение. В таком случае при каждом сближении проводятся активные действия по предотвращению столкновения, что ведет к большим затратам на проведение маневров уклонения и обеспечение выполнения целевых задач.

Необходимым условием обеспечения безопасного пролета «КО-риска» мимо «защищаемого» КА является оперативный контроль вектора промаха $\bar{\rho} = \bar{r}_{\text{ко}} - \bar{r}_{\text{ка}}$ (см. рисунок 1).

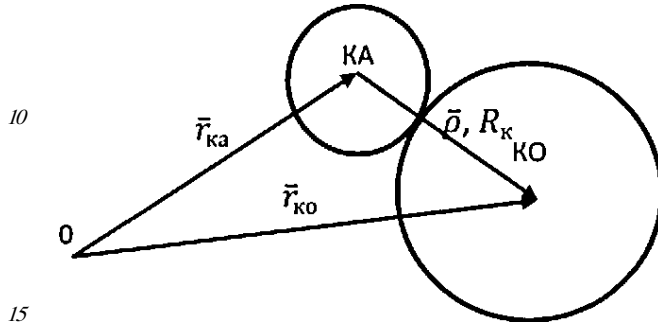


Рис 1. Вектор промаха

Если $\rho = |\bar{\rho}| \geq R_{\text{к}}$, то, как правило, считается, что столкновения нет. Здесь $R_{\text{к}}$ - пороговое значение расстояния между «КО-риска» и «защищаемым» КА для их безопасного пролета.

Выбор $R_{\text{к}}$ достаточно важен: его занижение может приводить к пропуску реально опасного сближения, а неоправданное завышение - к частой «ложной тревоге» и выполнению дополнительных маневров уклонения по ее устранению, что увеличивает эксплуатационные затраты.

Значение $R_{\text{к}}$ зависит от точности навигации каждого «защищаемого» КА и «КО-риска».

Не имея точных измерений траектории КО и возможности надежно предсказывать столкновения 2-х КО, мы можем определять только вероятность столкновения и, если она оказалась достаточно велика, проводить маневр уклонения. При этом в подавляющем числе случаев на самом деле столкновения не было бы, поэтому принятые меры были «как бы лишними». Однако в тех исключительных случаях, когда столкновение должно было быть, «увод» КА позволяет его избежать.

Решение о наличии или отсутствии столкновения может быть принято при двух взаимно исключающих условиях [2]:

условие A_1 - «столкновение есть»,

условие A_0 - «столкновения нет.

Каждому условию может соответствовать одно из решений:

решение A_1^* - «столкновение есть»,

решение A_0^* - «столкновения нет.

При расчете вектора промаха $\bar{\rho} = \bar{r}_{\text{ко}} - \bar{r}_{\text{ка}}$ возможны четыре ситуации:

1) ситуация $A_1^* A_1$ - правильное обнаружение столкновения;

2) ситуация $A_0^* A_1$ - пропуск столкновения;

3) ситуация $A_1^* A_0$ - ложная тревога;

4) ситуация $A_0^* A_0$ - нет столкновения.

Перечисленным событиям соответствуют четыре вероятности, сумма которых равна единице:

$$P(A_1^*A_1) + P(A_0^*A_1) + P(A_1^*A_0) + P(A_0^*A_0) = 1 \quad (1)$$

Принимая, что плотность вероятности положения объектов в пространстве распределена по нормальному закону с ошибкой σ , картину сближения в упрощенном виде можно представить на рисунке 2:

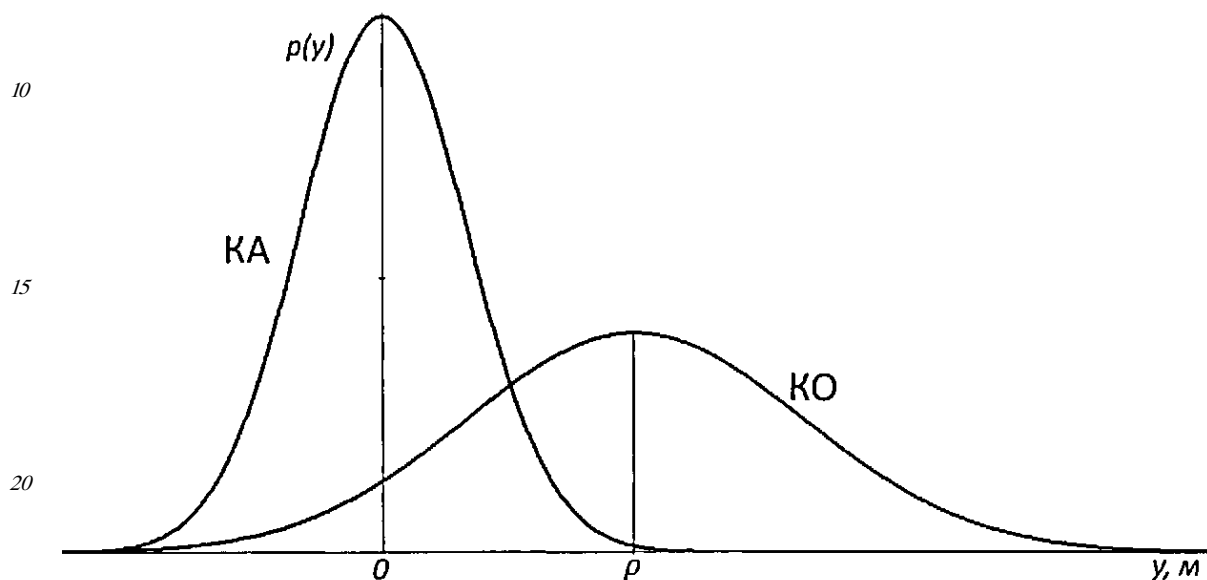


Рис. 2. Картина сближения

Левый график определяет положение «защищаемого» КА, положение которого, в большинстве случаев известно достаточно точно, правый - «КО-риска».

Функция распределения плотности вероятности нахождения КА в определенной точке описывается выражением:

$$p_{ка}(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ка}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_{ка}^2}} \quad (2)$$

Функция распределения плотности вероятности нахождения КО-риска в определенной точке описывается выражением:

$$p_{ко}(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ко}} e^{-\frac{(y-\rho)^2}{2\sigma_{ко}^2}}, \quad (3)$$

где ρ - расстояние между ожидаемыми положениями «защищаемого» КА и КО-риска.

При наличии ошибок в определении вектора промаха ρ возможны неправильные решения - рисунок 3.

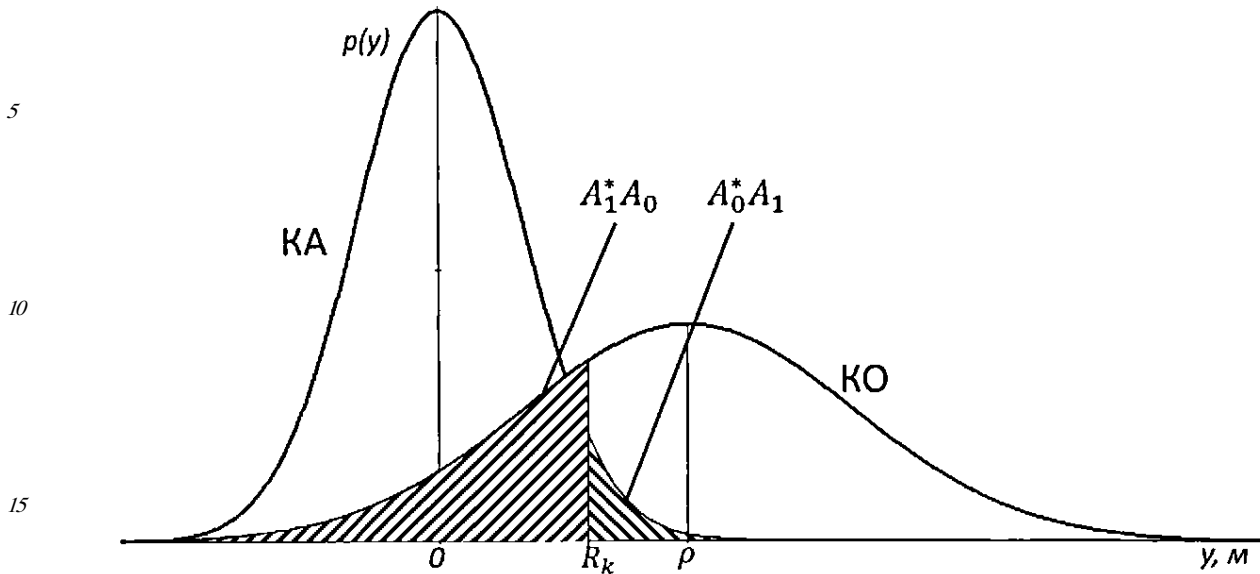


Рис. 3. Неправильные решения

Каждому решению поставим в соответствие некоторую стоимость, при этом для безошибочных решений эту стоимость условимся считать равной нулю: $s_{ik}(i=0,1; k=0,1)$, где $s_{11}=s_{00}=0$. Тогда систему обнаружения столкновения двух КО можно характеризовать средней стоимостью (математическим ожиданием стоимости) ошибочных решений

$$M\{s\} = \bar{s} = s_{01}P(A_0^*A_1) + s_{10}P(A_1^*A_0). \quad (4)$$

Лучшей из сравниваемых систем предупреждения можно тогда считать систему, удовлетворяющую критерию минимума среднего риска.

Из-за того что задание априорных вероятностей наличия и отсутствия столкновения $P(A_1)$ и $P(A_0)$ на практике крайне затруднительно, определение вероятностей совмещения $P(A_0^*A_1)$ и $P(A_1^*A_0)$ также вызывает большие трудности. Поэтому перейдем к условным вероятностям, являющимся качественными показателями вектора промаха при условиях наличия и отсутствия столкновения.

При наличии столкновения качественными показателями являются соответствующие условные вероятности правильного обнаружения столкновения

$$D = P(A_1^*|A_1) = P(A_1^*A_1)/P(A_1) \quad (5)$$

и пропуска столкновения

$$\bar{D} = P(A_0^*|A_1) = P(A_0^*A_1)/P(A_1) \quad (6)$$

Поскольку соответствующие одному и тому же условию A_1 решения A_1^* и A_0^* взаимоисключающие, то

$$D + \bar{D} = 1. \quad (7)$$

При отсутствии столкновения качественными показателями обнаружения являются условные вероятности ложной тревоги

$$F = P(A_1^*|A_0) = P(A_1^*A_0)/P(A_0) \quad (8)$$

и отсутствия столкновения

$$\bar{F} = P(A_0^*|A_0) = P(A_0^*A_0)/P(A_0), \quad (9)$$

причем

$$F + \bar{F} = 1. \quad (10)$$

Используя приведенные соотношения (5)-(10), выражение (4) для средней стоимости ошибки можно представить в виде

$$\bar{s} = s_{01}\bar{D}P(A_1) + s_{10}FP(A_0) \quad (11)$$

При рассмотрении зависимости среднего риска, видно, что оно зависит от параметров определяющих как систему предупреждения об опасных ситуациях в ОКП (\bar{D} , \bar{F}), от характеристик опасности состояния ОКП $P(A_1)$, $P(A_0)$ и стоимостных характеристик КА (s_{01} - стоимость пропуска столкновения, то есть стоимость потери аппарата, s_{10} - стоимость ложной тревоги, то есть стоимость проведения маневра).

Любое закономерное принятие решения о наличии или об отсутствии столкновения может быть описано решающей функцией $A^*=A(\gamma)$, которая в зависимости от значения γ принимает одно из двух значений: 0 и 1.

Вводя в общем случае произвольную решающую функцию, выражения для \bar{D} и \bar{F} можно записать в виде интегралов в бесконечных пределах:

$$\bar{D} = \int_{-\infty}^{\infty} A^*(\gamma)p_{КА}(\gamma)d\gamma, \quad \bar{F} = \int_{-\infty}^{\infty} A^*(\gamma)p_{КО}(\gamma)d\gamma \quad (12)$$

Зависимость \bar{D} и \bar{F} от порогового значения можно определить с помощью минимизации среднего риска. Перепишем выражение стоимости среднего риска (11), используя \bar{D} и \bar{F} :

$$\bar{s} = s_{01}\bar{D}P(A_1) + s_{10}(1 - \bar{F})P(A_0) \quad (13)$$

В реальных условиях крайне сложно построить функцию стоимости среднего риска, так как не известны вероятности столкновения, определяющие опасность конкретной орбиты в ОКП. Можно лишь оценить эти значения, используя модель ОКП.

Если рассмотреть несколько потенциальных систем предупреждения об опасных ситуациях в ОКП, то можно провести сравнение их показателей в одинаковых условиях опасности ОКП. В таком случае знания о параметрах ОКП и стоимостных характеристиках КА не так существенны.

Перепишем выражение стоимости среднего риска (11) следующим образом:

$$\bar{s} = s_{10}P(A_0)[1 - (\bar{F} - l_0\bar{D})], \quad (14)$$

где

$$l_0 = \frac{s_{01}P(A_1)}{s_{10}P(A_0)} \quad (15)$$

При этом критерий оптимизации характеристик системы по минимуму среднего риска сводится к так называемому весовому критерию

$$\bar{F} - l_0\bar{D} = \max. \quad (16)$$

Данный критерий показывает, что следует стремиться к увеличению «взвешенной» разности $\bar{F} - l_0\bar{D}$. Множитель l_0 , называемый весовым множителем, зависит от соотношения стоимости ошибок каждого вида и вероятностей наличия или отсутствия

столкновения.

Если при одинаковом весовом множителе l_0 сравниваются две системы предупреждения, из которых первая является оптимальной, то в силу (16) можно написать

$$\bar{F}_{\text{опт}} - l_0 \bar{D}_{\text{опт}} \geq \bar{F} - l_0 \bar{D} \text{ или } \bar{F}_{\text{опт}} \geq \bar{F} + l_0 (\bar{D}_{\text{опт}} - \bar{D}).$$

Тогда при $\bar{D} \leq \bar{D}_{\text{опт}}$ имеем $\bar{F}_{\text{опт}} \leq \bar{F}$ или $F_{\text{опт}} \leq F$. Это означает, что оптимальная система предупреждения дает наименьшую вероятность ложной тревоги среди всех систем, у которых условная вероятность пропуска столкновения не больше, чем у оптимальной. Данное условие можно принять в качестве самостоятельного критерия оптимальности (критерий Неймана-Пирсона), который, как и весовой, по существу является следствием общего критерия минимума среднего риска.

Выражение $\bar{F} - l_0 \bar{D}$, соответствующее весовому критерию, может быть представлено в виде:

$$\bar{F} - l_0 \bar{D} = \int_{-\infty}^{\infty} p_{\text{КА}}(y) A^*(y) [l(y) - l_0] dy \quad (17)$$

где

$$l(y) = \frac{p_{\text{КО}}(y)}{p_{\text{КА}}(y)} \quad (18)$$

Согласно весовому критерию оптимальной является такая система, которая обеспечивает максимум интеграла (17). Чтобы выполнить это условие, достаточно для каждого y добиться наибольшего значения подынтегрального выражения за счет выбора решающей функции $A^*(y)$. Эта функция принимает только два значения: 0 или 1, так что подынтегральное выражение либо обращается в ноль, либо умножается на единицу. Чтобы достичь наибольшего значения всего интеграла в целом, достаточно обеспечить наибольшее значение подынтегрального выражения для каждого y , поэтому полагаем:

- 1) $A^*(y)=1$, если подынтегральное выражение при этом положительно;
- 2) $A^*(y)=0$ в противном случае.

Поскольку плотность вероятности $p_{\text{КА}}(y)$ не может принимать отрицательных значений, то оптимальное правило решения задачи обнаружения может быть записано в виде:

$$A^*(y) = \begin{cases} 1, & \text{если } l(y) > l_0 \\ 0, & \text{если } l(y) < l_0 \end{cases} \quad (19)$$

Величина $l(y)=p_{\text{КО}}(y)/p_{\text{КА}}(y)$ называется отношением правдоподобия. Отношение правдоподобия характеризует, какую из гипотез о выполнении указанных взаимоисключающих условий следует считать более правдоподобной. Как и обе плотности вероятности, отношение правдоподобия не может выражаться отрицательным числом. Решение об отсутствии столкновения принимается, если отношение правдоподобия превышает пороговую величину l_0 , в противном случае принимается решение о наличии столкновения.

Итак, критерием оптимального обнаружения критической полетной ситуации может служить критерий отношения правдоподобия, являющийся следствием общего критерия

минимума среднего риска. Этот критерий наиболее удобен для практических расчетов.

Используя (2) и (3), запишем выражение для определения отношения правдоподобия:

$$l(y) = \frac{\sigma_{КА}}{\sigma_{КО}} \cdot e^{-\frac{(y-\rho)^2}{2\sigma_{КО}^2}} \cdot e^{\frac{y^2}{2\sigma_{КА}^2}} \quad (20)$$

Зависимость $l(y)$ показана на рисунке 4:

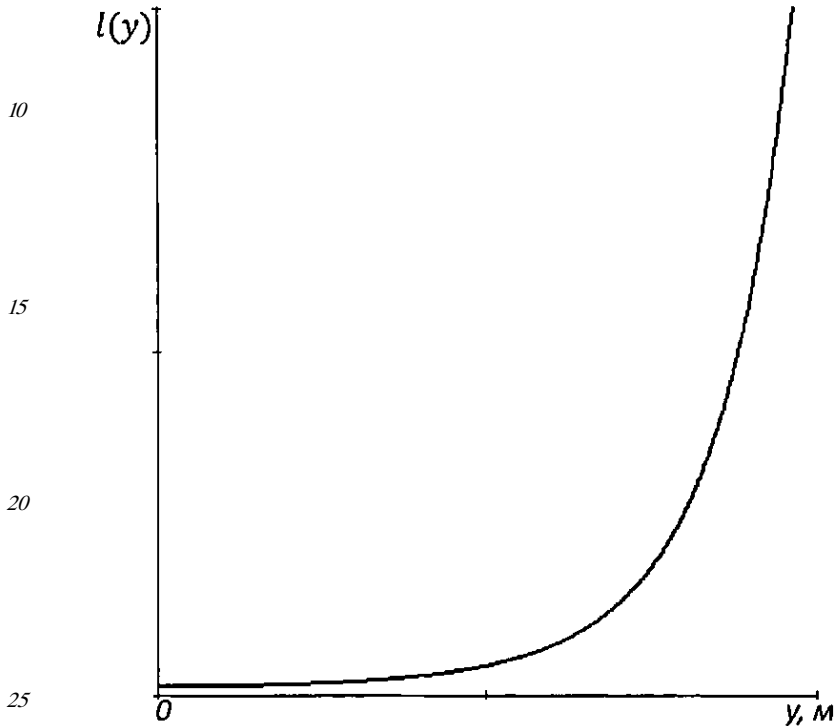


Рис4. Отношение правдоподобия

В силу монотонности хода кривой:

$$A^*(y) = \begin{cases} 1, & \text{если } y > R_k \\ 0, & \text{если } y < R_k \end{cases} \quad (21)$$

Таким образом, можно записать выражение вероятностей D и F как функцию от порогового значения:

$$\bar{D} = \int_{R_k}^{\infty} p_{КА}(y) dy = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{R_k/\sigma_{КА}}^{\infty} e^{-\frac{s^2}{2}} ds = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi\left(\frac{R_k}{\sigma_{КА}}\right) \right] \quad (22)$$

где

$$\Phi(u) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{s^2}{2}} ds$$

Таким образом, величину порога можно выбирать непосредственно по заданному уровню вероятности пропуска столкновения, что соответствует критерию Неймана-Пирсона. Это позволяет избегать учета априорных данных о наличии или отсутствии столкновения при реальном проектировании системы.

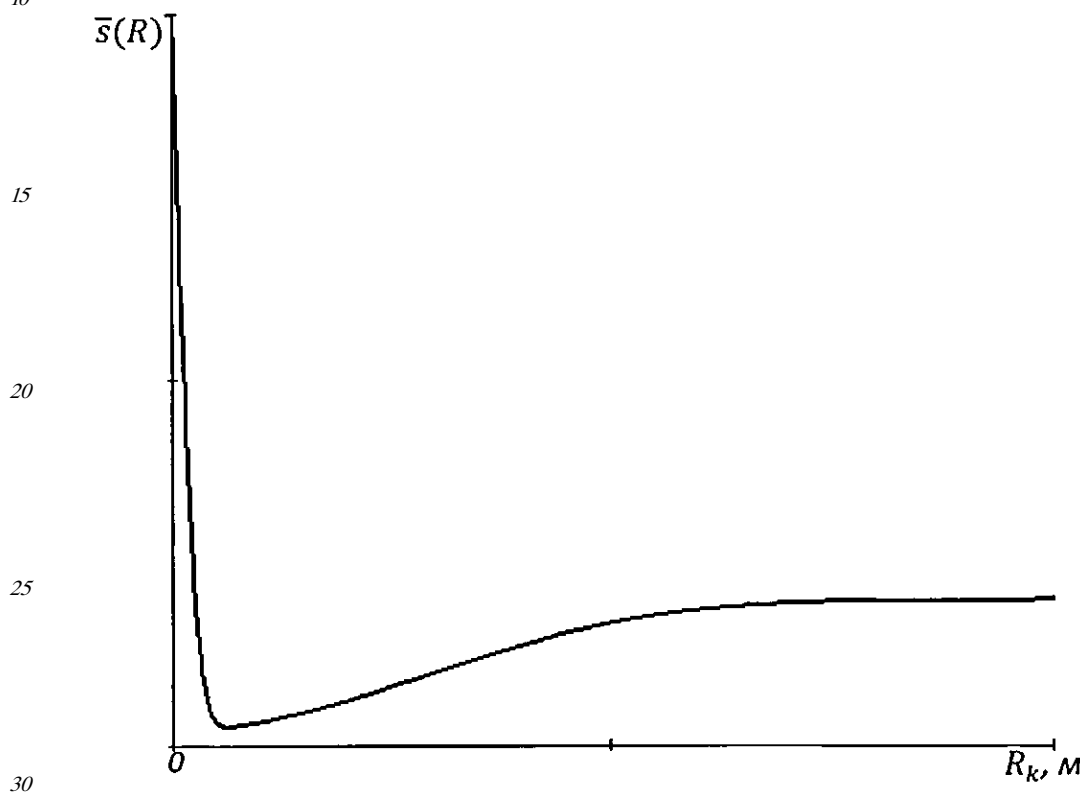
Условная вероятность правильного принятия решения об отсутствии столкновения:

$$\bar{F} = \int_{R_k}^{\infty} p_{\text{КО}}(y) dy = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(R_k - \rho)/\sigma_{\text{КО}}}^{\infty} e^{-\frac{s^2}{2}} ds = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi\left(\frac{R_k - \rho}{\sigma_{\text{КО}}}\right) \right] \quad (23)$$

5 или, в силу нечетности $\Phi(x) = -\Phi(-x)$, окончательно

$$\bar{F} = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi\left(\frac{\rho - R_k}{\sigma_{\text{КО}}}\right) \right] \quad (24)$$

10 График зависимости стоимости среднего риска от R_k между «защищаемым» КА и КО риска представлен на рисунке 5:



30 Рис. 5 Стоимость среднего риска.

График стоимости среднего риска демонстрирует, что при принятии решения об
отсутствии столкновения при $R_k=0$, стоимость риска соответствует стоимости потери
35 аппарата. При принятии решения при $R_k \Rightarrow \infty$, то есть принятии решения о столкновении
при каждом опасном сближении, стоимость среднего риска соответствует стоимости
проведения маневра уклонения.

Минимум функции $s(R_k)$ соответствует оптимальному значению порога для принятия
40 решения о наличии или отсутствии столкновения.

Среднее значение точности определения положения КО за 8 часов до «встречи» на
сегодняшнее время составляет порядка 1 км. Расчеты показывают, что при улучшении
средней точности до 500 м средний риск уменьшается на 30%. При этом, для решения
задачи АСПОС ОКП на момент сближения двух КО для обеспечения этих точностей
45 необходимо иметь для разных классов орбит следующие точности определения
положения КО:

	$\sigma_r, \text{ м}$	$\sigma_n, \text{ м}$	$\sigma_b, \text{ м}$
НОО	100	100	100
СВО	400	400	400
ГСО	500	500	500
ВЭО	400	400	400

где

σ_r - ошибка в радиальном направлении,

σ_n - ошибка в продольном направлении,

σ_b - ошибка в поперечном направлении.

Геометрические характеристики эллипсоида ошибок сопровождения показывают, что ошибки σ_r и σ_b меньше в 5-10 раз чем σ_n , что сопоставимо с размерами КА.

Выводы.

Таким образом, требования к системе могут предъявляться, с использованием предложенного подхода, через ошибку сопровождения КА и КО и вероятности характеристики предупреждения об опасных ситуациях в ОКП.

Основным параметром для принятия решения о наличии или об отсутствии столкновения «защищаемого» КА с «КО-риска» является пороговое значение расстояния между «КО-риска» и «защищаемым» КА, для их безопасного пролета. Значение порогового расстояния зависит от точности навигации каждого «защищаемого» КА и «КО-риска».

Предложен подход для определения и обоснования оптимальных характеристик системы предупреждения об опасных ситуациях для решения вопросов, связанных с выявлением, сопровождением и оценкой риска возможных опасных сближений в ОКП, основанный на критерии минимума среднего риска.

Список литературы

1. Олейников И.И., Аксенов О.Ю., Павлов В.П. Стратегия расчета вероятности безопасного порога сближения двух космических объектов: Вестник Московского авиационного института, Ракетно-космическая техника. 2012 г.;

2. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я. Д.; учебное пособие для вузов. М., изд-во «Советское радио», 1970, стр. 560;

3. Крамер Г. Математические методы статистики. Изд-во иностранной литературы, 1948 г.;

4. Канценбоген М.С. Характеристики обнаружения. Изд-во «Советское радио», 1965 г.;

5. Шилин В., Олейников И. Область контроля - космическое пространство: Воздушно-космическая оборона, информационно-аналитическое издание. 2007. Электрон. текст. Режим доступа: http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/Articles_View.aspx?tabID=320&ItemID=351&mid=2869&wvERSION=Staging.

Приложение 2

Основные свойства систем

Определение «системы», как разъясняется в теории систем и системном анализе, включает такие ее главные свойства, как целостность, структурность, организованность и функциональность.

Целостность системы означает, что каждый элемент системы вносит вклад в реализацию целевой функции системы.

Структурность - это упорядоченность системы, определенный набор и расположение

элементов со связями между ними. Между функцией и структурой системы существует взаимосвязь, как между философскими категориями содержанием и формой. Изменение содержания (функций) влечет за собой изменение формы (структуры), но и наоборот.

5 Организованность - сложное свойство систем, заключающиеся в наличии структуры и функционирования (поведения). Непременной принадлежностью систем являются их компоненты, именно те структурные образования, из которых состоит целое и без чего оно не возможно.

10 Функциональность - это проявление определенных свойств (функций) при взаимодействии с внешней средой. Здесь же определяется цель (назначение системы) как желаемый конечный результат

При этом особое значение приобретает такое свойство системы, как эмерджентность, которое достигается посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий элементов системы и проявляющееся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают.

15 Следует отметить, что целостность и эмерджентность - основные интегративные свойства системы, а наличие интегративных свойств является одной из важнейших черт системы как таковой.

Литература

- 20 1. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2007, 216 с.
2. Анфилатов В.С., Емельянов А.А. Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 368 с.
3. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой. В.Н. Козлова. - М.: Высш. шк. 2004. - 616 с.
- 25 4. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. - М.: Наука, 2003. - 128 с.

Формула изобретения

1. Способ предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом
30 пространстве и на Земле, заключающийся в том, что для получения необходимой мониторинговой информации о наблюдаемых космических объектах в части измерений параметров их движения в привязке к единому времени интегрируют в космический фрагмент навигационные, телекоммуникационные космические системы, космические системы разнопланового мониторинга, в том числе и на базе космических аппаратов-
35 телескопов, формируют и передают с задействованием средств телекоммуникационных космических систем соответствующую информацию от космических систем мониторинга на приемные системы наземного фрагмента, в котором соответствующими программными процессами и процедурами осуществляют совместную обработку мониторинговой информации, принятой от систем космического фрагмента, и
40 информации измерений от наземных радиолокационных, оптических средств и других видов измерений и источников информации, отличающийся тем, что в составе наземного фрагмента организационно и функционально выделяют структурно-функциональные элементы в составе главного информационно-аналитического центра, сегмента мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и
45 средневысоких орбит, сегмента мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства, сегмента по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности, сегмента анализа некоординатной информации о космических объектах и сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности, при

этом на средствах главного информационно-аналитического центра с помощью соответствующих программных процессов и процедур собирают, обрабатывают, анализируют, систематизируют, каталогизируют и хранят информацию об опасных и угрожающих космических объектах, получаемую от космических и наземных систем мониторинга и из других доступных источников, осуществляют ведение баз орбитальных и справочных данных сопровождаемых космических аппаратов, потенциально опасных техногенных космических объектов, прогнозируют опасные сближения и оценивают вероятности столкновения потенциально опасных космических объектов с сопровождаемыми космическими аппаратами, осуществляют баллистическое сопровождение прогнозируемых опасных сближений потенциально опасных космических объектов с сопровождаемыми космическими аппаратами, выявляют факты схода с орбиты космических объектов риска, включая их баллистическое сопровождение, прогнозирование времени и районов падения на Землю, систематизируют, прогнозируют и определяют траектории полетов опасных объектов, а также оценивают значения вероятностей, время и место столкновений потенциально опасных объектов естественного происхождения с действующими космическими аппаратами и с Землей, с использованием критерия минимума среднего риска и с учетом предварительной информации от сегментов о потенциально опасных космических объектах и прогнозируемых опасных ситуациях формируют предупреждения об опасных ситуациях, оперативно доводят до центров управления космических систем и комплексов, а при необходимости - до руководства и правительственных органов Российской Федерации и других стран мира, информацию о фактах возникновения угроз и прогнозе развития опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве и на Земле.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что для уменьшения среднего риска и достижения при этом эмерджентности как основного интегративного свойства системного подхода применяют критерий минимума среднего риска, в соответствии с которым при выявлении преимуществ путем сравнения нескольких потенциальных вариантов принятия решений используют выражение для оценки стоимости \bar{s} среднего риска:

$$\bar{s} = s_{10}P(A_0)[1 - (\bar{F} - l_0\bar{D})],$$

где: s_{10} - стоимость ложной тревоги, то есть стоимость проведения маневра;

$P(A_0)$ - вероятность отсутствия столкновения;

F - условная вероятность ложной тревоги;

$$l_0 = \frac{s_{01}P(A_1)}{s_{10}P(A_0)} - \text{весовой множитель;}$$

s_{01} - стоимость пропуска столкновения, то есть стоимость ущерба;

$P(A_1)$ - вероятность столкновения;

\bar{D} - условная вероятность пропуска столкновения,

по которому выбирают в качестве оптимальной тот вариант предупреждения об опасных ситуациях, у которого наименьшая вероятность ложной тревоги среди сравниваемых вариантов с учетом того, что условная вероятность пропуска столкновения у остальных вариантов не больше, чем у оптимального, при этом учитывают, что минимум стоимости \bar{s} среднего риска достигают устремлением к

максимуму выражения $\bar{F} - l_0 \bar{D} = \max$, в связи с чем заменяют последнее на интеграл:

$$\bar{F} - l_0 \bar{D} = \int_{-\infty}^{\infty} p_{KA}(y) A^*(y) [l(y) - l_0] dy,$$

где: \bar{F} - условная вероятность отсутствия столкновения;

$$l_0 = \frac{s_{01} P(A_1)}{s_{10} P(A_0)} - \text{весовой множитель};$$

\bar{D} - условная вероятность пропуска столкновения;

$p_{KA}(y)$ - плотность вероятности положения космического аппарата в пространстве;

$$l(y) = \frac{p_{KO}(y)}{p_{KA}(y)} - \text{отношение правдоподобия, характеризует, какую из гипотез о}$$

выполнении указанных взаимоисключающих условий следует считать более правдоподобной;

$p_{KO}(y)$ - плотность вероятности положения опасных космических объектов в пространстве,

получают наибольшее значение подынтегрального выражения за счет выбора решающей функции $A^*(y)$, которая может принимать только два значения: 0 или 1, так, что подынтегральное выражение либо обращается в ноль, либо умножается на единицу, для чего полагают:

- $A^*(y)=1$, если подынтегральное выражение при этом положительно;

- $A^*(y)=0$ в противном случае,

и принимают решение на основе критерия $A^*(y) = \begin{cases} 1, \text{ если } l(y) > l_0 \\ 0, \text{ если } l(y) < l_0 \end{cases}$, то есть, если

отношение правдоподобия превышает пороговую величину l_0 , то принимают решение

об отсутствии опасной ситуации, если отношение правдоподобия меньше пороговой величины l_0 , то принимают решение о наличии опасной ситуации.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на средствах сегмента мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит с помощью соответствующих программных процессов и процедур собирают,

обрабатывают, анализируют, систематизируют, каталогизируют и хранят мониторинговую информацию о космических объектах в области ответственности сегмента, получаемую от космических и наземных средств наблюдения, осуществляют ведение базы данных о космических объектах и опасных событиях в области

ответственности сегмента, регулярно обновляют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию об уточненных параметрах орбит космических

объектов, прогнозируют и передают в главный информационно-аналитический центр данные об опасных сближениях сопровождаемых космических аппаратов, а также с конкретными потенциально опасными космическими объектами, формируют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию о выявленных фактах

разрушений космических объектов в области ответственности сегмента.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на средствах сегмента мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства с помощью соответствующих программных процедур осуществляют ведение каталога

космических объектов в указанной области по информации от Центра контроля космического пространства, регулярно обновляют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию об уточненных параметрах орбит для конкретных космических объектов в низкоорбитальной области, прогнозируют и передают в главный информационно-аналитический центр данные об опасных сближениях сопровождаемых космических аппаратов с потенциально опасными космическими объектами, сопровождают сходы с орбит космических объектов риска, последних ступеней ракет-носителей, в том числе разгонных блоков, космические аппараты «Союз» и «Прогресс» и других объектов, формируют и передают в главный информационно-аналитический центр с заданной периодичностью сообщения о временах прекращения существования падающих космических объектов риска, формируют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию о выявленных фактах разрушений космических объектов в области низких орбит околоземного космического пространства.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на средствах сегмента по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности с помощью соответствующих программных процессов и процедур подготавливают и выдают в главный информационно-аналитический центр результаты краткосрочного и среднесрочного прогнозирования индексов солнечной и геомагнитной активности.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на средствах сегмента анализа некоординатной информации о космических объектах с помощью соответствующих программных процессов и процедур принимают, анализируют и обрабатывают некоординатную информацию от средств мониторинга околоземного космического пространства, осуществляют ведение базы данных некоординатной информации по сопровождаемым космическими аппаратами, контролируют состояния сопровождаемых космических аппаратов в нештатных и аварийных ситуациях, передают в главный информационно-аналитический центр результаты контроля состояния сопровождаемых космических аппаратов.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на средствах сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности с помощью соответствующих программных процессов и процедур собирают, обрабатывают, анализируют, систематизируют, каталогизируют и хранят информацию о потенциально опасных астероидах и кометах, получаемую и пополняемую из баз данных, например, Центра малых планет, основных обсерваторий мира, Российской и Международной виртуальных обсерваторий, осуществляют ведение баз данных об опасных астероидно-кометных телах и опасных событиях в зоне ответственности сегмента, регулярно обновляют и передают в главный информационно-аналитический центр информацию об уточненных параметрах орбит этих объектов, прогнозируют и передают в главный информационно-аналитический центр данные об опасных сближениях объектов астероидно-кометной опасности с сопровождаемыми космическими аппаратами и с Землей.

8. Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве и на Земле, реализующая способ предупреждения об опасных ситуациях, содержащая на объектах наземного фрагмента и объединяющая каналами связи в сеть аппаратно-программные, информационные и лингвистические средства и системы приема, хранения, передачи, обработки, анализа, прогнозирования опасных ситуаций, а также радиолокационные, оптические и другие системы и средства измерений, контроля и мониторинга опасных ситуаций, отличающаяся тем, что аппаратно-программные, информационные и лингвистические средства системы в таких выделенных

функционально-структурных элементах конфигурации системы, как главный информационно-аналитический центр, сегмент мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит, сегмент мониторинга опасных ситуаций в низкоорбитальной области околоземного космического пространства, сегмент по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности, сегмент анализа некоординатной информации о космических объектах и сегмент мониторинга астероидно-кометной опасности, объединяют в рамках каждого структурного элемента в локальную вычислительную сеть, при этом в главном информационно-аналитическом центре и во всех сегментах системы устанавливают вычислительные комплексы, серверы баз данных, автоматизированные рабочие места на базе компьютеров, а также разворачивают подсистемы, например, коммуникационную, решения целевых задач, формирования, отображения и передачи выходной информации, сбора и хранения информации, причем локальные вычислительные сети объединяют средствами инфокоммуникаций в территориально-распределенную сеть.

9. Автоматизированная система по 8, отличающаяся тем, что в состав средств главного информационно-аналитического центра и выделенных сегментов включают аппаратно-программные, информационные и лингвистические средства, а также необходимые программные комплексы, программные процессы и процедуры, обеспечивающие выполнение операций приема, хранения, передачи, обработки, анализа, прогнозирования опасных ситуаций, в том числе реализацию алгоритма вычисления средних значений точности определения положений космических объектов риска за определенное время до столкновений с ними на основе критерия минимума среднего риска, при этом локальную сеть сегмента мониторинга астероидно-кометной опасности связывают по Интернету с базами данных, например, Центра малых планет при Международном астрономическом союзе (Кембридж, Массачусетс), основных обсерваторий мира, с Российской и Международной виртуальными обсерваториями.

10. Автоматизированная система по п. 8, отличающаяся тем, что в состав подсистемы сбора и хранения информации включают основные информационные средства, именуемые базами данных - БД, необходимые для обеспечения полноты и постоянного мониторинга и функционирования системы и ее структурных элементов в соответствии с выполняемыми ими задачами, например:

- БД по запускам космических аппаратов;
- БД (архив данных) по космическим аппаратам и другим наблюдаемым космическим объектам техногенного происхождения с основными их характеристиками;
- БД (реестр) функционирующих космических аппаратов и орбитальных группировок;
- БД по событиям, произошедшим в околоземном космосе в результате космической деятельности (взрывы, опасные сближения, плановые маневры и стыковки и их результаты, сходы с орбиты и т.п.);
- БД (каталог) космических объектов риска, находящихся на этапе завершения орбитального полета;
- БД (каталог) по опасным космическим объектам, сближающимся с МКС и другими сопровождаемыми космическими аппаратами;
- БД по техногенному засорению околоземного космического пространства и мероприятиям, противодействующим накоплению космического мусора;
- БД по траекторным измерениям и орбитальным данным космических аппаратов и космическим объектам, поступающим от разных источников информации;
- БД с результатами определения орбит космических объектов по измерительным

данным,

- БД с результатами прогнозов времени и места падения космических объектов, сходящих (сошедших) с орбиты;

5 - БД с результатами прогнозов опасных сближений неуправляемых космических объектов с сопровождаемыми космическими аппаратами;

- БД по гелиогеофизическим параметрам атмосферы;

- БД с параметрами используемых геодинамических моделей, астрономических, геодезических и других констант и данных, используемых при решении баллистико-навигационных задач полета космических объектов;

10 - БД по моделям ненаблюдаемой фракции космического мусора;

- БД нормативно-правовой документации по вопросам ограничения объемов космического мусора;

15 - БД (пополняемый каталог) объектов естественного происхождения (астероидов, комет и других объектов), орбиты которых опасно пересекают орбиту Земли и орбиты сопровождаемых космических аппаратов.

11. Автоматизированная система по п. 8, отличающаяся тем, что главный информационно-аналитический центр и выделенные сегменты оснащают совместимыми версиями операционных систем и аппаратно-программными платформами, как правило, одного разработчика (производителя), на которых строят и объединяют в сеть
20 информационно-вычислительные комплексы, серверы обработки целевой информации, серверы баз данных для работы с соответствующими базами данных и автоматизированные рабочие места.

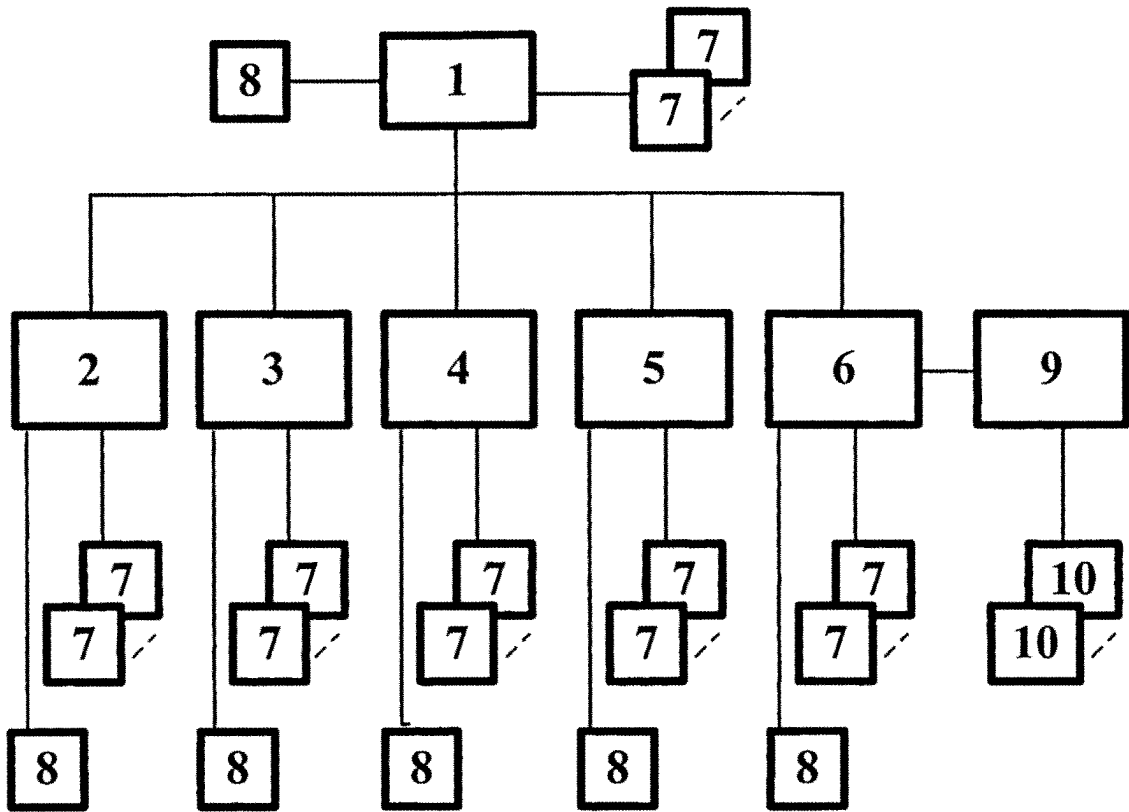
25

30

35

40

45



Фиг. 1