

УДК 004.94

Комплекс программ и методик для оценки вклада обеспечивающих космических систем

Топорков А.Г.¹, Селиванов Р.А.²

^{1,2}Студенты, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

*Научный руководитель: Старчак С.Л., д.т.н., доцент, профессор отдела № 1 КВ УВЦ
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

toporkov.90@mail.ru

forgotten.in.kadath@gmail.com

starchak@bmstu.ru

Введение

В ходе ударных операций США и НАТО конца XX — начала XXI вв., наиболее «знаковыми» из которых, безусловно, были войны в Персидском заливе и война в Югославии, окончательно определилась роль высокоточного оружия различного базирования, его носителей различных типов и были отработаны способы их боевого применения. Одним из важнейших системообразующих элементов всей используемой военной машины были космические системы различного назначения.

Их использование позволило США и их союзникам обеспечить при проведении боевых действий не только высокую эффективность средств поражения, но и единство действий привлекаемых разнородных сил и средств при осуществлении управления боевыми действиями непосредственно с континента США и на уровне штаб-квартиры НАТО в Брюсселе [1-6].

Сочетание ракетного оружия с военно-космическими системами является в настоящее время определяющим фактором в строительстве высокоэффективных вооруженных сил и гарантом национальной безопасности. Принципы строительства и применения в локальных конфликтах современных вооруженных сил США и НАТО с опорой на ракетное оружие и военно-космические системы служат наглядным примером

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/532702.html>

для всех стран, в том числе и для стран, относящихся ранее к странам «третьего мира», которые также стремятся к обладанию ракетным оружием [7].

Анализ мнений ведущих экспертов позволяет констатировать наличие противоречия между необходимостью (в интересах обеспечения обороноспособности государства) и целесообразностью (с учетом негативных международных последствий и риска существенных экономических затрат) создания боевых средств воздействия на космические аппараты иностранных государств [8].

Таким образом, возникает необходимость в наличии инструмента, позволяющего сузить, в идеале – устранить, «серую» зону международного космического права. Возможности такого инструмента должны обеспечивать оценку степени военных угроз, создаваемых в результате функционирования космических систем и средств военного и двойного назначения, и принимать обоснованное решение о допустимых уровнях необходимого воздействия на элементы космических систем [9].

Одним из ключевых моментов при формировании подходов и выборе пути создания такого инструмента является обеспечение возможности определения допустимых уровней воздействия на иностранные космические аппараты (системы). Уровень угрозы, создаваемой космической системой противника, и уровень противокосмического потенциала противоборствующей стороны должны быть оценены в единой мере и сопоставлены. Кроме того, может быть оценен вклад (коэффициент важности) каждой отдельно взятой космической системы или космического аппарата в эффективность боевых действий противника. В конечном итоге может быть определен перечень космических аппаратов, при нейтрализации которых эффективность боевых действий противника будет снижена пропорционально коэффициентам важности соответствующих космических аппаратов. Современный уровень проработки проблемы анализа влияния космического и противокосмического потенциала на процессы эволюции угроз стратегической стабильности позволяет получить оценки, как правило, качественного и общего, а если количественного, то фрагментарного и безотносительного характера [9].

Всё выше рассмотренное обуславливает необходимость разработки методического аппарата для исследования влияния состава и характеристик орбитальной группировки, обеспечивающих космических систем (КС) на эффективность вооруженной борьбы в широком диапазоне условий.

В процессе исследований разработан методический аппарат, математические модели, а также комплекс программ для оценки вклада космических систем в эффективность комплексов высокоточного оружия. Комплекс программ состоит из:

1. База данных «Типы разведывательных систем» (управляющая программа);
2. Программа «Satellite OEI» расчёта вероятности обнаружения цели средствами оптико-электронной разведки (ОЭР);
3. Программа «SC visibility» расчета времени нахождения космического аппарата (КА) в зоне видимости наземных пунктов, либо в зоне разведки;
4. Программа расчёта оценки вклада космических систем в эффективность боевых действий.

Описание базы данных космических систем

База данных «Типы разведывательных систем» (рисунок 1) по средствам наблюдения обеспечивает возможность анализа зависимости оценки вклада КС в эффективность боевых действий от основных динамических характеристик КА, а именно от параметров орбиты.

Поскольку выбор параметров орбиты осуществляется исходя из целевого назначения КА и на основании требований к качеству выполнения разведывательных задач, то оператор может добавлять как уже существующие КА, так и гипотетические (перспективные).

Программа расчета вероятности обнаружения цели средствами ОЭР

На данном этапе исследования программа «Satellite OEI» (рисунок 2) решает задачи обнаружения стационарных объектов средствами оптико-электронной разведки с учётом того, что космическая система разведки состоит из одного КА.

В основу математической модели движения КА положена невозмущённая орбитальная модель движения КА [10].

id	Name of spacecraft (RU)	Name of spacecraft (EN)	Country of Operator	Kind Surveillance	Getting Started	Life cycle	Number of NORAD
1	нет данных	Keyhole 1 (...)	USA	ОЗР	05.12.1995	10	23728
2	нет данных	Keyhole 3 (...)	USA	ОЗР	22.05.1999	10	25744
3	нет данных	Keyhole 4 (...)	USA	ОЗР	05.10.2001	10	26934
4	нет данных	Keyhole 5 (...)	USA	ОЗР	19.10.2005	10	28888
5	Гелиос - 2А	Helios - 2A	France/Ital...	ОЗР	18.12.2004	5	28492
6	Гелиос - 1А	Helios - 1A	France/Ital...	ОЗР	07.07.1995	5	23605
7	Гелиос - 2В	Helios - 2B	France/Ital...	ОЗР	18.12.2009	5	36124
8	Амос 2	Amos 2	Israel	ОЗР	27.12.2003	12	28132
9	Амос 3	Amos 3	Israel	ОЗР	28.04.2008	12	32794
10	нет данных	(ANDE) C...	USA	ОЗР	15.07.2009	1	35694
11	нет данных	(ANDE) P...	USA	ОЗР	15.07.2009	1	35693
12	нет данных	Beidou 1B ...	China (PR)	ОЗР	20.12.2000	нет данных	26643
13	нет данных	Beidou 1C ...	China (PR)	ОЗР	24.05.2003	нет данных	27813
14	нет данных	Beidou M1...	China (PR)	ОЗР	13.04.2007	нет данных	31115
17	нет данных	Brazilsat B...	Brazil	ОЗР	28.03.1995	12	23536
18	нет данных	C/NOFS (...)	USA	ОЗР	16.04.2008	нет данных	32765

Рис. 1. Главное окно БД «Типы разведывательных систем»

В качестве показателя обнаружения объекта используется критерий Неймана-Пирсона:

$$P_{обн} = 1 - \exp \left\{ -\frac{W \times L \times N}{S} \right\} = 1 - \exp \{ -\Psi \}, \quad (1)$$

где:

N – количество пролетов КА;

$S = D \cdot L$ – площадь района поиска (D – ширина; L – длина);

W – приведенная ширина полосы поиска, которая зависит от высоты орбиты КА, скорости КА и эмпирического коэффициента, учитывающего телесный угол обзора аппаратуры разведывательного КА, размеры и контрастность объекта поиска, и освещенность района поиска и др.

Этот показатель применим, поскольку методики оценки возможностей аппаратуры разведки, предназначенной для обнаружения объектов и измерения параметров его физических полей, разрабатываются на основе положений теории распространения электромагнитных волн в газообразных и жидких средах, статистической теории приёма сигналов и оценки их параметров. При этом, как правило, предполагается, что приём сигналов осуществляется согласованным приёмником [11,12].

На основании полученных результатов работы программы в соответствии с принятой математической моделью можно сделать выводы.

1. При увеличении высоты орбиты КА вероятность обнаружения объекта уменьшается, причём по экспоненциальной зависимости. Однако можно изменить

тенденцию уменьшения вероятности обнаружения путём улучшения проектных характеристик КА (увеличение угла обзора, пространственного разрешения оптико-электронной аппаратуры, тем самым изменяя коэффициент k в нужную область значений).

При увеличении орбитальной скорости полёта КА вероятность обнаружения объекта увеличивается. Этот результат можно рассмотреть с нескольких сторон.

Рис. 2. Главное окно программы “Satellite OEI”

Во-первых, с увеличением орбитальной скорости КА увеличивается бег подстилающей поверхности, что неблагоприятно влияет на качество снимка, получаемого оптико-электронной системой этот эффект препятствует успешному обнаружению противника. На данном этапе исследований рассматривается наблюдение за неподвижным объектом, что значительно упрощает математическую модель.

Во-вторых, коэффициент k главным образом зависит ещё от вероятности того, что информация, переданная потребителю, не потеряет своей актуальности за время, проходящее от получения информации КА до ее передачи потребителю. Таким образом, вероятность передачи информации зависит как от скорости, так и от типа передачи данных, а также от времени обнаружения, представляющего собой сумму времени на

обнаружение объекта оптико-электронной аппаратурой, времени идентификации объекта и времени определения координат объекта. Передача информации может осуществляться через спутники-ретрансляторы, либо в момент прохождения КА ОЭР через зону передачи информации потребителю. В нашем случае предполагается использование спутников-ретрансляторов.

Таким образом, с повышением скорости КА уменьшается период его обращения по орбите и, как следствие, существенно сокращается время нахождения спутника вне зон видимости наземно-измерительного пункта (НИП). Повышается частота обновления информации, получаемой со спутника. Следовательно, повышается вероятность того, что сведения не утратили своей актуальности, что, бесспорно, способствует скорейшему обнаружению цели.

Итак, используя формулу (1) и варьируя входящими в неё параметрами, можно спрогнозировать степень эффективности систем оптико-электронной разведки, а также сформировать минимальные требования и создать условия для гипотетических (перспективных) средств ОЭР.

На данном этапе работы рассматривается зависимость вероятности обнаружения объектов от элементов орбиты КА ОЭР, то есть параметров, не зависящих от свойств и характеристик оптической системы.

На следующем этапе предполагается исследование зависимости вероятности обнаружения объекта от характеристик оптико-электронной аппаратуры, бортовой аппаратуры, установленной на КА.

Программа расчета времени нахождения КА в зоне видимости НИП

В процессе работы с программой «SC visibility» возможно отображение трассы пролета КА разведки через зоны действия выбранного набора наблюдательных пунктов, которые нанесены на карту Земли. На диаграмме радиовидимости отображается время нахождения КА в зоне НИП. Количество НИП можно устанавливать до 5.

Математическая модель взаимодействия обеспечивающих космических систем и обобщенного потребителя

Основными объектами исследований определим гипотетический комплекс высокоточного оружия и группировку обеспечивающих космических систем. В качестве обобщенного потребителя рассмотрим комплекс высокоточного оружия без конкретизации его вида и типа.

В качестве показателя для количественных оценок эффективности поражения обычно используется вероятность успешного завершения процесса наведения оружия на цель при условии безотказной работы технических средств комплекса [13].

Результирующая вероятность поражения одиночной цели зависит от выполнения отдельных этапов цикла боевой работы, которые носят вероятностный характер:

- $P_{\text{ПИ}}$ – вероятность получения информации об объектах противника;
- $P_{\text{ДК}}$ – вероятность доведения команд космическими и другими системами связи и передачи данных;
- $P_{\text{ДН}}$ – вероятность успешного дальнего наведения;
- $P_{\text{БН}}$ – вероятность успешного ближнего наведения (самонаведения);
- $P_{\text{ПОР}}$ – вероятность поражения конкретного объекта данным типом ВТО;
- $P_{\text{ДР}}$ – вероятность выполнения этапа доразведки (оценка выполнения боевой задачи).

Вероятность поражения одиночной цели в одиночной атаке (вероятность выполнения боевой задачи) может быть представлена выражением:

$$P_{\text{БЗ}} = P_{\text{ПИ}} \cdot P_{\text{ДК}} \cdot P_{\text{ДН}} \cdot P_{\text{БН}} \cdot P_{\text{ПОР}} \cdot P_{\text{ДР}}. \quad (2)$$

Принимая во внимание вышесказанное, а также конкретные зависимости, составляется математическая модель, позволяющая оценить вероятность успешного получения информации об объектах противника.

Выделим следующие этапы применения обобщенного потребителя или так называемую циклограмму обобщённого потребителя: подготовка к применению; дальнейшее наведение; ближнее наведение или поражение цели; оценка результатов применения.

I. Процесс дальнего наведения заключается в выводе ударного средства в район поражаемого объекта так, чтобы обеспечить попадание цели в зону обзора бортового прицельного комплекса. Задача дальнего наведения может решаться с помощью бортовых средств (в частности, инерциальная навигационная система) и при периодической коррекции текущего местоположения (ТМС) с помощью глобальной навигационной системы (ГНС) космического базирования.

II. Ближнее наведение заключается в непосредственном поражении объекта высокоточными средствами поражения, которые могут быть оснащены аппаратурой коррекции траектории наведения с использованием ГНС или командной радиоперелинии управления (КРУ). Заметим, что КРУ может функционировать как по каналам ССС, так и по каналам других средств передачи данных.

III. Этап оценки результатов применения обобщенного потребителя аналогичен

этапу разведки.

Таким образом, согласно приведенному делению, в модели присутствуют основные алгоритмы расчета:

1. Вероятности успешного целераспределения и подготовки к применению обобщенного потребителя,
2. Вероятности успешного дальнего наведения на цель,
3. Вероятности успешного ближнего наведения на цель,
4. Вероятности успешного проведения этапа оценки результатов применения обобщенного потребителя.

По результатам анализа математической модели обобщенного потребителя разработана программная реализация частных алгоритмов оценки эффективности обобщенного потребителя и оценки вклада обеспечивающих космических систем на эффективность обобщенного потребителя.

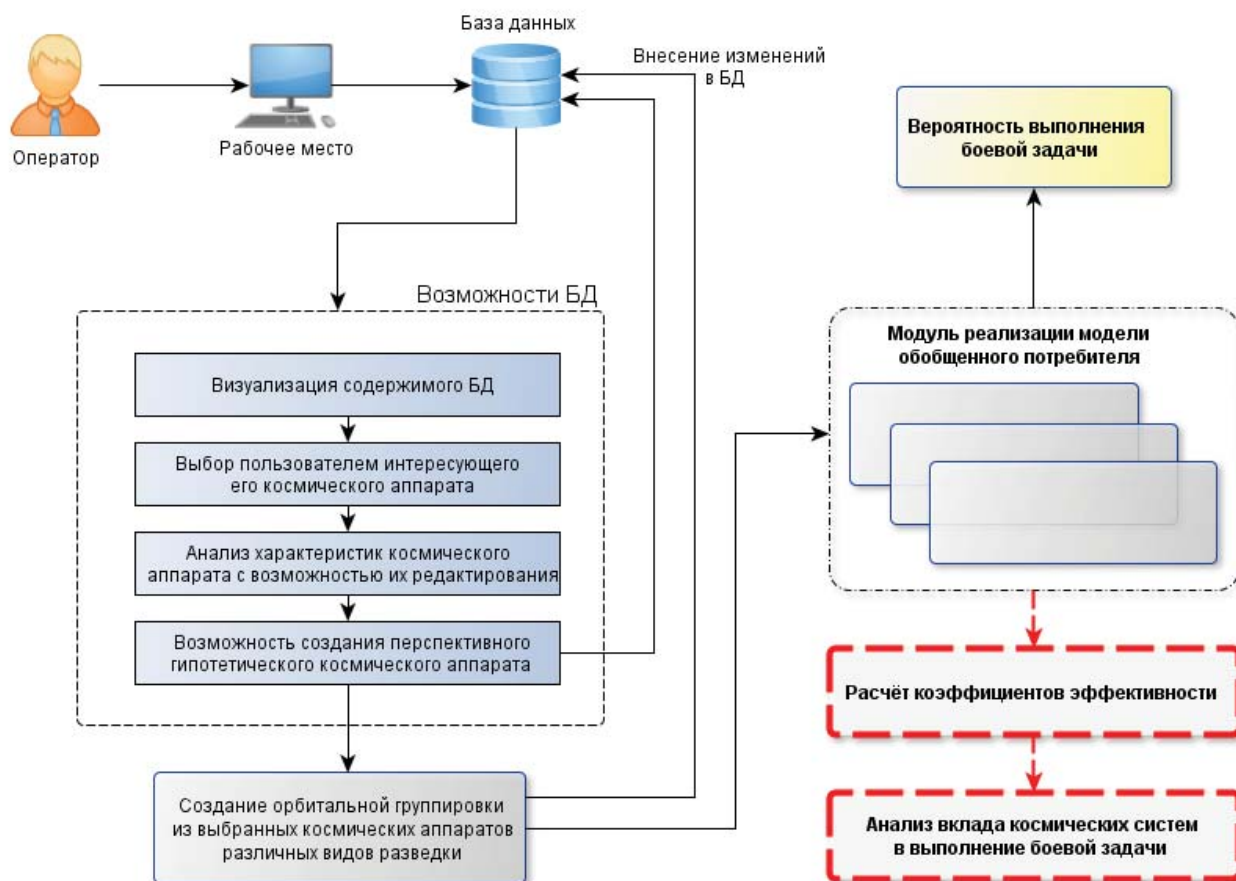


Рис. 3. Блок-схема алгоритма программной реализации модели обобщенного потребителя

Методика расчета коэффициентов важности обеспечивающих космических систем

Помимо приведенных алгоритмов, в программе также реализован расчет коэффициентов важности отдельных КС по следующей методике:

1. Временной интервал, характеризующий прогнозируемую длительность конфликта в рамках отдельного сценария, разбивается на ряд последовательных временных подынтервалов, описывающих ключевые эпизоды сценария. При наличии достаточных исходных данных процесс детализации может быть продолжен до циклограммы применения отдельно взятого ударного средства.

2. Для каждой элементарной фазы на основании модели обобщенного потребителя рассчитывается показатель эффективности при условии участия всех обеспечивающих КС.

3. Действие 2 повторяется для условия последовательного исключения из группировки одной из обеспечивающих КС.

В результате выполнения пунктов 2-3 будут получены оценки эффективности выполнения элементарных этапов при условии полной группировки обеспечивающих КС и для случаев последовательного выключения отдельных КС.

4. В рамках элементарного этапа для каждой КС определяется её абсолютный вклад в эффективность.

5. Рассчитываются коэффициенты важности отдельных КС, пропорциональные их вкладу в эффективность элементарного этапа.

Множество коэффициентов, приведенных для всего интервала, характеризуют динамику изменения важности каждой космической системы в рамках выбранного сценария, а приоритетность противодействия каждой обеспечивающей космической системы (ОКС) может быть представлена функцией от времени $k_m = f(t)$.

На основании анализа коэффициентов важности каждой ОКС могут быть определены интервалы времени, когда их вклад достигает максимума, что может служить основанием для определения требуемой оперативности и степени поражения (подавления) ОКС. Для корректного определения требований по оперативности подавления конкретных ОКС необходима информация о составе сил обороняющейся стороны, их боевых возможностях и планируемых действиях. Задача определения требований по оперативности поражения (подавления) конкретных ОКС может быть решена в полном объеме только в процессе исследования, в частности, моделирования, двухсторонних боевых действий.

В представленной программе алгоритм расчета показателей важности имеет следующую структуру:

1. Рассчитывается результирующая вероятность выполнения боевой задачи для заданных начальных условий моделирования (все вероятностные характеристики каждой ОКС на каждом этапе циклограммы имеют свои заданные значения).

2. Рассчитывается результирующая вероятность выполнения боевой задачи при условии последовательного исключения каждой ОКС на заданном этапе циклограммы (вероятность их безотказной работы принимается близкой к нулю).

3. В рамках элементарного этапа циклограммы для каждой анализируемой КС определяется ее абсолютный вклад в успешное выполнение боевой задачи.

4. Рассчитываются коэффициенты важности отдельных КС, пропорциональные их вкладу в эффективность элементарного этапа.

Входными данными для расчета являются вероятностные характеристики обеспечивающих космических систем, некосмических систем, обобщенного потребителя. Упомянутые вероятностные характеристики являются обобщенными параметрами, отвлеченными от конкретных ТТХ систем и объектов, анализируемых с помощью модели. Их значения задаются с помощью метода экспертных оценок и некоторых статистических данных. Также для получения некоторых вероятностных характеристик используются упомянутые выше программы “Satellite OEF” и “SC Visibility”. На данном этапе развития модели происходит синтез специального математического аппарата, который позволит получать необходимые вероятностные характеристики КС, пересчитывая их из конкретных технических параметров аппаратов и систем с учетом условий их работы.

Выходными данными являются результирующая вероятность выполнения обобщенным потребителем боевой задачи, а также набор показателей важности всех участвующих в моделировании КС.

Основные направления совершенствования модели

Дальнейшими направлениями развития методического аппарата будут являться уточнение и функциональная детализация моделей обобщенного потребителя и космических систем, разработка базы данных по космическим системам: оптико-электронной разведки, радиолокационной разведки, радиотехнической разведки, системы связи, системы навигации и высокоточным ударным средствам. Это позволит осуществить переход от общих математических характеристик к анализу конкретных космических аппаратов и их спутниковых группировок. Будет создаваться универсальный математический аппарат, который позволит пересчитывать технические характеристики отдельных КА и их группировок, обобщенного потребителя и других составляющих модели в вероятностные характеристики, описывающие процесс работы обобщенного потребителя и его взаимодействия с ОКС.

Рис. 4. Главное окно программы расчета коэффициентов важности КС

Также будет проводиться анализ вкладов различных КС на отдельных этапах функционирования обобщенного потребителя и выявление локальных максимумов функций эффективности для ОКС каждого типа. Это позволит исследовать боевые возможности КС противника, распределение КА по их коэффициентам важности и выбрать ограниченное количество КА, обладающих наибольшим вкладом в угрозы. Тем самым это позволит применять меры к иностранным КС в случае военных действий. Эти меры будут заключаться в применимости противоспутникового оружия, в результате которых эффективность противника будет снижаться.

Список литературы

1. Суханов С.А., Гринько В.Ф., Смирнов В.М. Космос в вопросах вооруженной борьбы. Ежемесячный журнал «Национальная оборона», №7 (28), стр. 29 – 42.
2. Волков С. А. Рост воздушной и космической мощи//Воздушно-космическая оборона. URL.<http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=176&mid=2892&wversion=Staging>. (дата обращения:22.05.2012).

3. Волков С. А. Космос как поле для битвы//Воздушно-космическая оборона. URL.<http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=219&mid=2893&wversion=Staging>. (дата обращения:22.05.2012).
4. Лопин Г. А., Цурков М. Л., Оглоблин В. В. Угрожающая перспектива. //Воздушно-космическая оборона. URL.<http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=468&mid=2892&wversion=Staging> (дата обращения:22.05.2012).
5. Ягольников С., Шушков А. Соединенные Штаты пересматривают ядерную политику//Воздушно-космическая оборона. URL.<http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=89&mid=2893&wversion=Staging> (дата обращения:22.05.2012).
6. Приступюк И., Сомков Н.. Устоять под ударами ВТО.//Воздушно-космическая оборона. URL.<http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=101&mid=2893&wversion=Staging> (дата обращения:22.05.2012).
7. Фатеев В., Суханов С. Концепция развития РКО России. //Воздушно-космическая оборона. URL.<http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=63&mid=2892&wversion=Staging> (дата обращения:22.05.2012).
8. Арбатов А., Дворкин В. Появится ли новый ТВД уже над нашей планетой? URL.<http://vpk-news.ru/articles/5751> (дата обращения:22.05.2012).
9. Старчак С.Л. Проблема «серой» зоны международного космического права и возможные пути её решения // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. URL.<http://technomag.edu.ru/doc/244105.html> (дата обращения:23.05.2012).
10. Нариманов Г.С., Тихонравов М.К. Основы теории полёта космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972. – 608 с.
11. Меньшаков Ю.К. Защита объектов и информации от технических средств разведки. – М.: Российск. гос. гуманит. ун-т, 2002. – 399 с.
12. Афанасьев А.А., Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей радиотехническими средствами наблюдения. – М.: Воениздат, 1964. – 122 с.
13. Топорков А.Г., Селиванов Р.А. О подходе к исследованию влияния космической группировки на эффективность боевых действий // Сборник статей докладов участников общеуниверситетской научно-технической конференции «Студенческая научная весна – 2012». – М.: НТА «АПФН», 2012. Т. XII, Ч. 5. – С. 276–281.