

УДК 621.396.1

Ф. М. Андреев¹, С. В. Ковбасюк²

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

² Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова Національного авіаційного університету

ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННОГО КОМПЛЕКСА, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ РЛС НАДГОРИЗОНТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Розглядаються питання комплексного використання національних радіолокаційних засобів надгоризонтного виявлення балістичних та космічних об'єктів. Основну увагу приділено ефективному використанню наявних засобів та перспектив розвитку цього напрямку космічної галузі в Україні.

НАЦИОНАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Являясь космической державой, Украина принимает активное участие в различных космических программах, выводя с помощью своих ракет-носителей на околоземные орбиты национальные и иностранные космические аппараты (КА). Второй Государственной космической программой Украины (1998–2002 гг.) было предусмотрено создание национальной Системы контроля и анализа космической обстановки (СКАКО) [7]. Это дало возможность с помощью национальных и внешних источников информации (Главного каталога СККП РФ, каталога Norad) самостоятельно оценивать обстановку в космосе.

До недавнего времени только РФ, США и Китай владели системами контроля космического пространства. В последние годы, после ввода в эксплуатацию в ноябре в 2005 г. радиолокатора GRAVES [8], в число государств, имеющих средства контроля космического пространства (ККП), вошла Франция. За 16 месяцев наблюдений французский радар обнаружил на низких околоземных орбитах больше 2200 объектов, в том числе от 20 до 30 спутников, не

включенных в каталог, обнародованный министерством обороны США.

Европейское космическое агентство также планирует полностью развернуть систему ККП до 2015 года, для чего будет использовать один радиолокатор и 4–5 наземных оптических станций.

Мероприятиями Общегосударственной целевой научно-технической космической программы Украины на 2008–2012 гг. в рамках выполнения задания «Обеспечения развития наземной инфраструктуры» предусмотрена модернизация СКАКО [3]. По своей сути это большая сложная информационно-измерительная система, предназначенная для непрерывной оценки космической обстановки в мирное и военное время и обеспечения потребителей информацией необходимого качества. Система включает информационные средства наблюдения (радиолокационные, оптические и др.) и пункты сбора и обработки информации о КА (рис. 1).

Результатом работы информационных средств системы должен быть каталог космических объектов (КО), ведение которого обусловлено необходимостью:

- высокоточного баллистико-навигационного обеспечения планирования применения отечественных КА с высокой разрешающей способностью (в перспективе — группировок КА) (на рис. 2 проиллюстрирована актуальность по-



Рис. 1. Структура системы контроля и анализа космической обстановки

вышения точности определения параметров КА, которые имеют высокую разрешающую способность бортовой аппаратуры);

- обнаружения и сопровождения элементов запуска в случае нештатной ситуации при выведении отечественных КА;
- реализации Украиной ряда международных программ и контроля выполнения странами международных соглашений;
- оценки космического потенциала иностранных государств и космической обстановки в целом как одного из разведывательных признаков;
- оперативного выявления разведывательных КА, которые выводятся на орбиты, что позволит своевременно реализовать комплекс средств по предотвращению утечки информации;
- контроля наличия в околоземном космическом пространстве большого количества малоразмерных объектов, которые представляют угрозу полету рабочих аппаратов, и вышедших из строя крупногабаритных КА, представляющих угрозу целостности экологически опасных объектов (АЭС, ТЭС, химические производства и т. п.).

Требования, которые предъявляются к точностным параметрам каталога КО, с каждым годом повышаются, а к оценкам начальных условий (НУ) движения КА при решении заданий оборонного характера — особенно.

Каждый вид информационных средств, дислоцированных на территории Украины, предна-

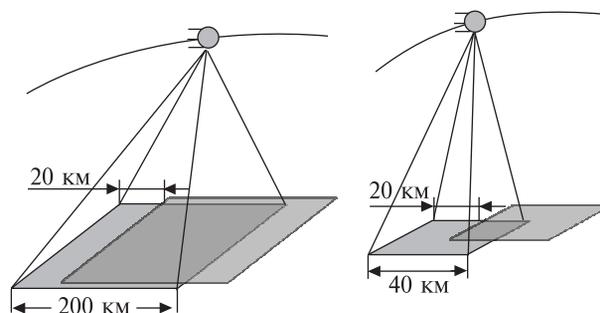


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая актуальность повышения точности определения параметров КА, которые имеют высокую разрешающую способность бортовой аппаратуры

Таблица 1. Характеристики разных видов информационных средств, дислоцированных на территории Украины

Средство	Точность	Оперативность	Особенности
Радиолокационная станция	Низкая	Высокая	Постоянно осуществляет разведку космического пространства
Квантово-оптическая система	Высокая	Высокая	Работает по предварительным целеуказаниям
Командно-измерительная система	Высокая	Низкая	—

значен для решения узкоспециализированных задач и не может автономно и непосредственно быть использован для ведения (обновления) каталога КО (табл. 1).

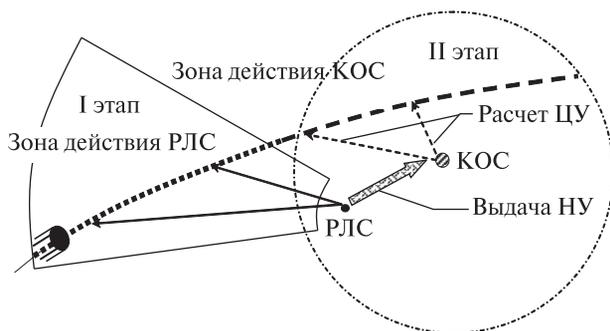


Рис. 3. Схема двухэтапного определения параметров орбит КО

Украина располагает группировкой высокопотенциальных радиолокационных станций надгоризонтного обнаружения (РЛС НГО) баллистических и космических объектов типа 5Н86-М («Днепр-М»), которая состоит из двух отдельных радиотехнических узлов (орту), дислоцированных в г. Мукачево и г. Севастополь. Радиолокационные станции — единственные средства СКАКО, которые обеспечивают непрерывный обзор (разведку) космического пространства и решение задач:

- по выявлению баллистических и космических объектов в полете;
- по сопровождению обнаруженных целей, измерению их координат с последующим определением параметров траекторий баллистических ракет (БР) и орбит космических объектов;
- по классификации целей, выделения сгорающих ИСЗ и атакующих БР, определения точек старта и падения БР.

Лоцируемые средствами НГО цели характеризуются малыми эффективными отражательными поверхностями и космическими скоростями полета. Это обуславливает острый дефицит времени при их обслуживании и требует полной автоматизации процесса функционирования РЛС. Поэтому РЛС 5Н86-М функционирует в автоматическом режиме в соответствии с комплексным рабочим (боевым) алгоритмом, реализованным на вычислительном комплексе [9].

РЛС НГО имеют дальность действия в несколько тысяч километров, что достигается за счет высокого потенциала РЛС НГО (приблизительно на три порядка выше, чем в РЛС обзора

воздушного пространства, которые работают в том же диапазоне волн). Реализация высокого потенциала стала возможной благодаря стационарному варианту выполнения РЛС.

Однако дислоцированные на территории Украины РЛС имеют низкие точностные характеристики и несовершенное алгоритмическое обеспечение для решения заданий ККП, что обусловлено их основным назначением — оперативным вскрытием факта нанесения ракетно-ядерного удара, а также моральным и физическим старением аппаратуры и программно-алгоритмического обеспечения. Начало эксплуатации узлов датируется 1976–1977 гг., дата выработки ресурса вооружения после второго продления — 2005 г.

Таким образом, вопрос получения оперативных и точных начальных условий движения КО в настоящее время следует считать проблемным.

Сложность ведения каталога КО заключается в получении в сжатые сроки точных баллистико-навигационных данных. Наиболее оптимальным решением данной проблемы является объединение всех информационно-разведывательных средств в единую систему и сосредоточение усилий на комплексном и взаимодополняющем применении наличных и перспективных средств. В связи с этим актуальным является вопрос создания радиолокационных комплексов и разработка нового математического обеспечения их функционирования с целью оперативного и достоверного оценивания параметров движения КА.

Исходя из поставленного задания, работу информационных средств СКАКО целесообразно организовать в два этапа. На первом этапе по результатам функционирования радиолокационных средств непрерывного наблюдения за КА (рис. 3) получается первичная, грубая оценка параметров орбиты объектов наблюдения. На основании этой информации формируются целеуказания (ЦУ) высокоточным средствам (например, квантово-оптической системе (КОС) «Сажень-С») для локации экстраполированной пространственной области нахождения объекта. По результатам работы этих средств (или совместной обработки информации грубых и точных

средств) на втором этапе происходит точное определение параметров орбит КО с использованием минимального количества проводок КО и последующее обновление данных каталога.

Анализ возможности формирования ЦУ для высокоточных измерителей по исходной информации РЛС НГО показал, что точностные характеристики ЦУ не удовлетворяют требованиям к такой информации. Причиной является грубое измерение угловых координат и несовершенство алгоритмического обеспечения для решения заданий контроля космического пространства (использование упрощенных математических моделей движения КО).

Один из возможных путей повышения точности ЦУ — информационное объединение нескольких грубых автономных измерителей в многопозиционные радиолокационные комплексы (МП РЛК). При этом благодаря общей обработке информации об объекте наблюдения достигается более высокая точность траекторных расчетов по сравнению с однопозиционными РЛС.

Цель работы — анализ точностных характеристик определения параметров движения КА при объединении украинских радиолокационных средств ККП (двух орту НГО в г. Севастополь и Мукачево и Центра ККП Национального центра управления и испытаний космических средств в г. Евпатория на рис. 1) в МП РЛК.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

На рис. 4 показаны зоны действия дислоцированных в Украине РЛС НГО.

Зоны видимости РЛС НГО имеют общую область наблюдения, максимальное значение которой при оптимальной высоте полета КО составляет около 60 % от размера зоны наблюдения одной РЛС. Суммарная зона действия значительно превышает зону наблюдения автономной РЛС. Расстояние между измерительными средствами соизмеримо с дальностью до цели, что дает возможность создать на их основе большебазовый МП РЛК.

Преимущество некогерентного большебазового МП РЛК, состоящего из автономных РЛС, —

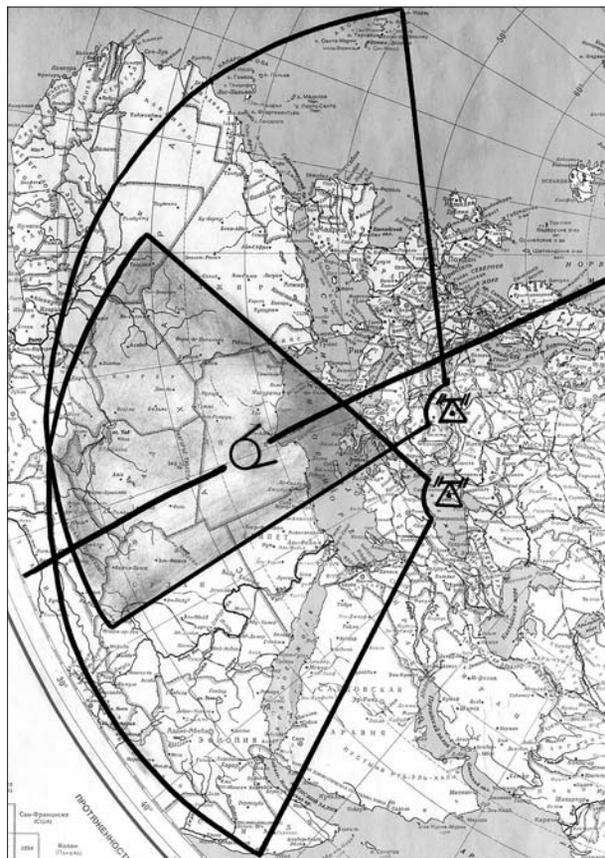


Рис. 4. Зоны действия дислоцированных в Украине РЛС НГО

получение любой из составляющих комплекса измерений всех пространственных координат независимо от других, отсутствие требований синхронизации работы РЛС, использование больших баз и избыточной информации, что дает возможность повысить точность определения оценок орбитальных параметров.

Ряд исследований [4–6], посвященных алгоритмам обработки траекторных измерений как автономной РЛС, так и в активном МП РЛК, показали значительное повышение оперативности и точности оценивания параметров движения КА. Рассматривался вариант получения оценок НУ движения КА на одном витке.

В табл. 2 приведены средние квадратичные погрешности $\sigma_{|r|}$ и $\sigma_{|v|}$ определения модулей радиуса-вектора и скорости КА для отдельной РЛС, а также МП РЛК, состоящих из двух или трех

РЛС типа 5Н86-М. Количество измерений координат КО каждой РЛС равно 30. В качестве объекта наблюдения был выбран КА типа «КХ-11».

Результаты имитационного моделирования показали, что совмещение зон сопровождения КА радиолокационных станций МП РЛК дает возможность более точно оценить вектор пространственного положения цели, поскольку на определенном участке полета имеется увеличенное количество измерений координат объекта. Разнесенные в пространстве зоны сопровождения дают возможность более точно оценить вектор скорости цели благодаря увеличению участка наблюдения за объектом. Подтверждена также зависимость результирующих оценок от типа траектории движения КА (чем больше отличается кинематическая модель движения КО на интервале сопровождения от линейной, тем точнее будут результаты оценивания при использовании динамической модели для сглаживания результатов наблюдений) и ориентации орбиты объекта относительно РЛС МП РЛК.

Существует концепция создания и развертывания орту НГО нового поколения на базе РЛС высокой заводской готовности. Поэтому в табл. 3 приведены результаты оценивания параметров движения КА типа «Січ-1» в МП РЛК при разных тактико-технических характеристиках (ТТХ) РЛС НГО. Проведенные исследования по вопросам многокритериальной оптимизации количества РЛС и структуры МП РЛК по-

Таблица 2. Оценивание параметров движения КА типа «КХ-11» в зависимости от количества РЛС

Состав МП РЛК	$\sigma_{ \vec{r} }$, км	$\sigma_{ \vec{v} }$, км/с
Одна РЛС 5Н86-М	4.4	$3 \cdot 10^{-2}$
Две РЛС 5Н86-М	1.3	$6.2 \cdot 10^{-3}$
Три РЛС 5Н86-М	0.19	$7.7 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3. Оценивание параметров движения КА типа «Січ-1» в зависимости от типа РЛС

Состав МП РЛК	$\sigma_{ \vec{r} }$, км	$\sigma_{ \vec{v} }$, км/с
Три РЛС типа 5Н86-М	0.11	$3.4 \cdot 10^{-4}$
Две РЛС типа 5Н86-М + одна РЛС типа AN/FPS-108 («Кобра Дейн»)	0.063	$1.2 \cdot 10^{-4}$

казали, что наилучшим вариантом построения комплекса является три РЛС, расположенных в углах равностороннего треугольника. В связи с этим при математическом моделировании местами дислокации РЛС были выбраны г. Мукачево, г. Севастополь и г. Чернигов.

Нужно отметить, что при планировании применения отечественных КА наличные радиотехнические системы обеспечивают погрешности $\sigma_{|\vec{r}|} = 20...40$ м, $\sigma_{|\vec{v}|} = 1.5...3$ см/с при наблюдении КА на 6...8 витках, что составляет интервал 2...3 сут. Модернизация средств дает возможность определить параметры движения цели с такой же точностью по 3...4 виткам. Таким образом, данные табл. 3 показывают, что наблюдение за КА с помощью МП РЛК ненамного уступают по точности радиотехническим средствам, которые обслуживают только «свои» аппараты, но значительно превышает их по оперативности. Кроме того, следует заметить, что проведенные исследования не исчерпывают возможности повышения точности определения параметров движения КА. Так, например, путем решения многоточечной краевой задачи были получены результаты определения НУ. Они указывают на возможность повышения точности оценивания при учете общих зон сопровождения, если на предварительном этапе обработки измерительной информации точно оцениваются угловые скорости движения КА (благодаря избыточности информации и измерения координат с пространственно разнесенных позиций) и затем дополнительно учитываются при решении краевой задачи. Еще одним вариантом является объединение информации на двух витках.

Другими направлениями повышения информативности средств СКАКО является:

- дополнение одной из РЛС (например, РЛС в г. Севастополь) выносным приемным пунктом, созданным на современной радиоэлектронной базе;
- создание многопозиционной информационной системы на основе разнотипных средств, способных вести сопровождение КА, например, РЛС 5Н86-М и КОС «Сажень-С».

Конкретный состав и ТТХ каждой составляющей МП РЛК должны определяться задания-

ми, возложенными на информационные средства, и требованиями потребителей информации. Отмечая необходимость оперативного и точного определения параметров движения КА при решении заданий национальной безопасности и обороны, нужно отметить, что МО Украины и другие заинтересованные структуры на данный момент не могут выдвигать разработчикам жесткие требования по этим параметрам, поскольку не финансируют эти разработки. Последнее следует из анализа Общегосударственной целевой научно-технической космической программы Украины на 2008–2012 г. [3].

При оценивании эффективности информационных средств целесообразной является замена параметра точности определения НУ движения КА на параметры влияния информации о движении КА на качество выполнения целевых заданий, например:

— выдача ЦУ высокоточному измерительному средству типа КОС «Сажень-С» (вероятность захвата на сопровождение КА КОС $P_{КОС}$);

— планирование применения КА ДЗЗ высокой разрешающей способности (вероятность накрытия полосой съемки заданного района P).

Результаты расчетов по первому параметру представлены на рис. 5, где рис. 5, *a* отображает случай получения ЦУ по результатам сопровождения КА типа «Січ-1» автономной РЛС 5Н86-М, рис. 5, *б* — однобазовым МП РЛК, состоящим из наличных РЛС 5Н86-М.

На рис. 6 представлены результаты расчета вероятности P накрытия участка на поверхности Земли размером 10×10 км полосой съемки КА ДЗЗ шириной 10 км в зависимости от временного интервала планирования съемки T_n , нормированного на период вращения КА. Рис. 6, *a* характеризует случай сопровождения КА автономной РЛС 5Н86-М, рис. 6, *б* — большебазовым МП РЛК в составе двух РЛС 5Н86-М. Так, при значении $P = 0.7$ качественное планирование заданий КА ДЗЗ высокого разрешения может быть для однобазового МП РЛК практически на виток. По результатам математического моделирования можно сделать вывод, что сопровождение КА средствами МП РЛК позволяют с высокой эффективностью выполнить задачу

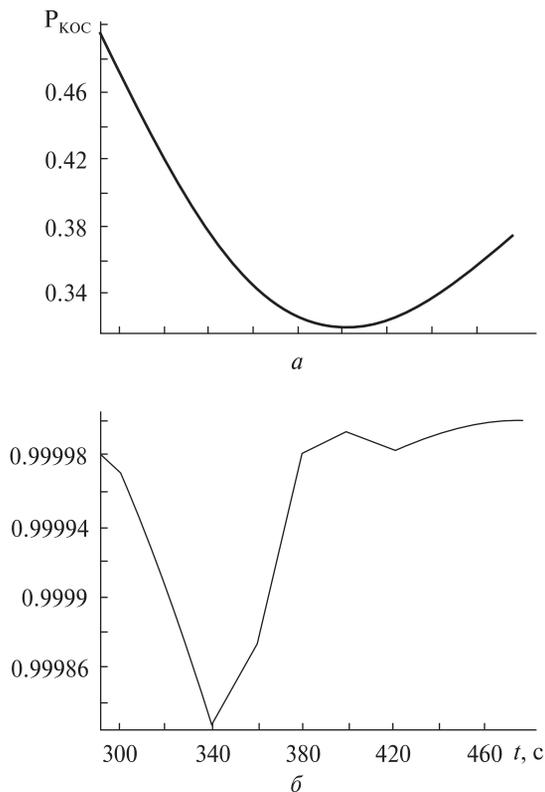


Рис. 5. Вероятность $P_{КОС}$ захвата КА на сопровождение: *a* — по результатам сопровождения КА типа «Січ-1» автономной РЛС 5Н86-М, *б* — однобазовым МП РЛК, состоящим из наличных РЛС 5Н86-М

выдачи ЦУ высокоточному средству, а также эффективно планировать применение КА ДЗЗ при условии учета перечисленных выше положений.

Все варианты решения задачи оперативного и точного ведения (обновления) каталога КО предусматривают высококачественное функционирование РЛС НГО как средства ведения ККП. Анализ современного технического состояния РЛС 5Н86-М показывает, что параметры и основные характеристики вооружения находятся в заданных рамках и отвечают требованиям эксплуатационной документации, за исключением части специального технического обеспечения, например холодильных машин, вентиляторов и тому подобное.

Поскольку РЛС 5Н86-М исчерпали назначенный срок службы, возникает вопрос о после-

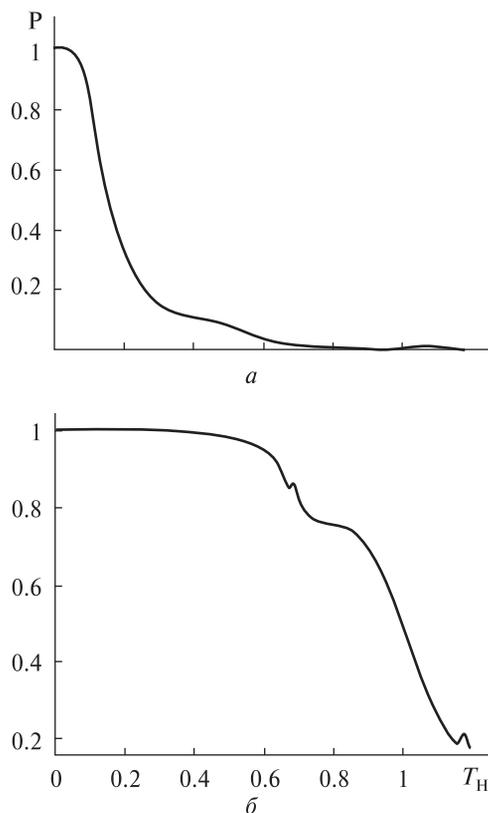


Рис. 6. Вероятность P накрытия участка на поверхности Земли размером 10×10 км полосой съемки КА ДЗЗ шириной 10 км в зависимости от временного интервала планирования съемки T_n , нормированного на период вращения КА: a – случай сопровождения КА автономной РЛС 5Н86-М, b – большебазовым МП РЛК в составе двух РЛС 5Н86-М

дующей судьбе этих уникальных средств. Для развития космической отрасли в Украине необходимо сохранить РЛС НГО — основу национальной СКАКО.

Известны варианты решения проблемы, когда техническое средство устаревает физически и морально [1]:

- создание нового образца;
- глубокая модернизация существующего образца;
- создание нового образца через модернизацию РЛС.

Последний вариант позволяет решать две задачи: во-первых, продление срока службы и

«подтягивание» характеристик конкретного образца техники к заданным и, во-вторых, возрождение национальной дальней радиолокации. При таком подходе выбираются только те направления модернизации, которые при приемлемом уровне расходов позволяют эффективно решить оба задания, то есть вместе с продлением срока службы РЛС заложат основу стратегических решений, которые будут затем использованы при создании РЛС высокой заводской готовности.

В работе [1] определены перспективные направления модернизации национальных РЛС НГО. Она позволит повысить надежность и функциональность РЛС, снизить эксплуатационные расходы и создать значительный научно-технический задел в разработке и создании РЛС высокой заводской готовности.

Модернизация аппаратной и алгоритмической компонент РЛС 5Н86-М в целях повышения ее точностных характеристик и продления эксплуатационного ресурса является необходимой и такой, что технически может быть реализована даже в условиях экономического и финансового кризиса.

Космическая деятельность государства несет в себе важную системную функцию мультипликатора развития национальной высокотехнологичной экономики. Она выражается в объединении результатов развития многих других отраслей национальной промышленности, и одновременно выдвигает к ним, а также к теоретической науке и техническому образованию новые, более высокие требования, которые стимулируют переход на существенно новый технологический уровень [2]. Если государственные потребности в космических средствах и услугах не будут обеспечены путем создания и развития украинских космических средств, они будут удовлетворяться приобретением услуг на мировом рынке. Это потребует больших экономических расходов, значительно уменьшит возможности для инновационного развития отечественной экономики, увеличит отставание Украины от наиболее развитых стран мира и существенно отразится на уровне национальной безопасности и обороны.

ВЫВОДЫ

Эксплуатируемые в Украине РЛС НГО являются основой национальной СКАКО. Для удовлетворения возросших требований потребителей информации каталога КО к точности и оперативности получения оценок начальных условий движения КА целесообразным является создание большебазовых некогерентных МП РЛК на базе автономных активных РЛС НГО. Такое построение даст возможность максимально эффективно использовать при оценивании и прогнозировании космической обстановки информацию, которая содержится в пространственной структуре отраженного от КА электромагнитного поля, а также повысит эффективность применения по целевому назначению отечественных КА.

Модернизация существующих РЛС СКАКО и создание в перспективе РЛС высокой заводской готовности позволит Украине не только быть в числе ведущих космических стран мира, но и стимулировать развитие высокотехнологических отраслей экономики, сберечь и приумножить интеллект нации.

1. Андреев Ф. М., Ковкин В. В., Статкус А. В. Состояние и перспективы развития национальных средств надгоризонтного обнаружения баллистических и космических объектов // Прикладная радиоэлектроника. — 2005. — 4, № 3. — С. 263–268.
2. Афанасьев И. А. Космонавтика и власть // Новости космонавтики. — 2008. — № 2. — С. 58–62.
3. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2008–2012 роки. — Київ: Національне космічне агентство України, 2008. — 86 с.
4. Ковбасюк С. В., Ракушев М. Ю. Расчет частных производных от текущих элементов орбиты по начальным условиям движения космического аппарата на основе многомерных дифференциальных преобразований // Двойные технологии. — 2004. — № 2. — С. 15–18.
5. Ковбасюк С. В., Стефанович В. И. Алгоритм объединения информации о параметрах движения космического аппарата в активном многопозиционном радиолокационном комплексе // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. — 2007. — № 2 (41). — С. 90–95.
6. Ковбасюк С. В., Шестаков В. И. Оценивание точности определения пространственного положения лоцируемого объекта в многопозиционных РЛС // Изв. вузов. Радиоэлектроника. — 1999. — № 10. — С. 18–23.
7. Космічне право України: Зб. національних і міжнародних правових актів. — К.: Атака, 2004. — 440 с.
8. Павельцев П. Охота за невидимками по-французски // Новости космонавтики. — 2007. — № 8. — С. 41.
9. Радиотехнические станции надгоризонтного обнаружения войск ПРН / Под ред. Ф. М. Андреева. — Харьков: ВИРТА, 1983. — 444 с.

Надійшла до редакції 25.05.09

F. M. Andreev, S. V. Kovbasyuk

POSSIBILITIES OF MULTIPOSITION COMPLEX CREATED ON THE BASIS OF NATIONAL EARLY WARNING RADARS

The necessity and possibility of complex use of the Early Warning Radars are examined. Major attention is given to the most effective use of existing facilities. The prospects of development of this direction of space industry are briefly discussed.