

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

М. И. Калинов, П. М. Калинов, В. А. Родионов (Санкт-Петербург)

Информационное обеспечение морской техники (МТ) в современных условиях часто связано с применением космических систем (КС) различного целевого назначения. Для контроля параметров и состояния морских объектов наблюдения (далее – объектов) независимо от их действий, погоды и времени суток в глобальном масштабе с высокой оперативностью и требуемой периодичностью многие годы успешно применяются космические системы наблюдения, решающие задачи мониторинга морской поверхности (МП). (Далее для определенности рассматриваются КС радиолокационного мониторинга (РЛМ) МП.) За последние полвека в нашей стране на околоземную орбиту было выведено несколько десятков космических аппаратов (КА) таких систем, и накоплен большой опыт их эксплуатации в интересах информационного обеспечения МТ [1-3].

Прогнозирование результатов применения КС неразрывно связано с процессом их создания, необходимостью обоснования характеристик бортовых специальных комплексов (БСК), количественного состава и баллистической структуры орбитальных группировок (ОГ) КА. Для выполнения такого прогноза применяются различные технические и программные средства, в том числе в течение последних двадцати лет – имитационно-моделирующий комплекс (ИМК) информационных космических систем, программное обеспечение которого в настоящее время поддерживается в актуальном состоянии в Санкт-Петербургском отделении секции прикладных проблем при Президиуме РАН.

Обычно прогнозные задачи связаны с априорной оценкой (расчетом показателей) эффективности применения КС, ее свойств и возможностей. Далее для удобства (в соответствии с сущностью исследуемых процессов) процедура получения этих оценок будет называться прогнозированием результатов применения КС. Его содержанием является трансформация массива исходных данных в оценки искомых показателей с помощью сценарно-временного метода прогнозирования результатов применения космической системы РЛМ МП (далее – метода), в котором, с одной стороны, осуществляется моделирование процесса функционирования КС (от орбитального движения КА до распознавания объекта на пункте приема информации (ППИ) в условиях фоно-целевой обстановки различной степени сложности), а с другой – моделирование действий объекта путем розыгрыша некоторого количества сценариев, имитирующих неопределенность его возможного положения и состояния («обнаружен» или «не обнаружен»).

При каждом пролете КА над неподвижной (динамичной) областью возможного положения объекта (ОВПО) (с учетом принятых ограничений по границам этой области и скорости перемещения объекта) по всем сценариям возможных действий объекта воспроизводятся явления (опыты), благоприятный исход которых (объект попал в полосу обзора КА, зафиксирован его бортовым специальным комплексом, информация об объекте получена на ППИ, объект распознан) означает появление события «обнаружение объекта». В противном случае объект считается не обнаруженным. С целью обеспечения приемлемых для прогнозных расчетов точности и надежности получаемых оценок (доверительного интервала 0,05 и доверительной вероятности 0,7-0,9) выбрано 100 сценариев возможных действий объекта.

Для удобства прогнозирования аналитические зависимости и логические условия применяемых математических моделей трансформированы в компьютерную модель на языке программирования высокого уровня. Пример получения и отображения результатов одной реализации при моделировании процесса функционирования КС (интервал оценки – 3 суток) и 10 сценариях (m) действий объекта представлен на рисунке.

Представленные результаты могут быть интерпретированы следующим образом. Всего на интервале оценки произошло 8 информативных пролетов КА через ОВПО. Количество благоприятных исходов опытов (обозначены на рисунке утолщенными вертикальными отрезками) в каждом пролете различно (в первом пролете – 6, во втором – 5, в третьем – 3 и т.д.). Отношение количества благоприятных исходов опытов к количеству сценариев ($m = 10$) позволяет получить оценку мгновенной вероятности обнаружения объекта в текущем пролете КА (в первом пролете – 0,6, во втором – 0,5, в третьем – 0,3 и т.д.). Пролонгация полученных оценок мгновенной вероятности обнаружения объекта на допустимое время устаревания данных и их нормирование интервалом оценки позволяют, в конечном итоге, получить искомую оценку вероятности слежения $W_{сл.}$ за ним.

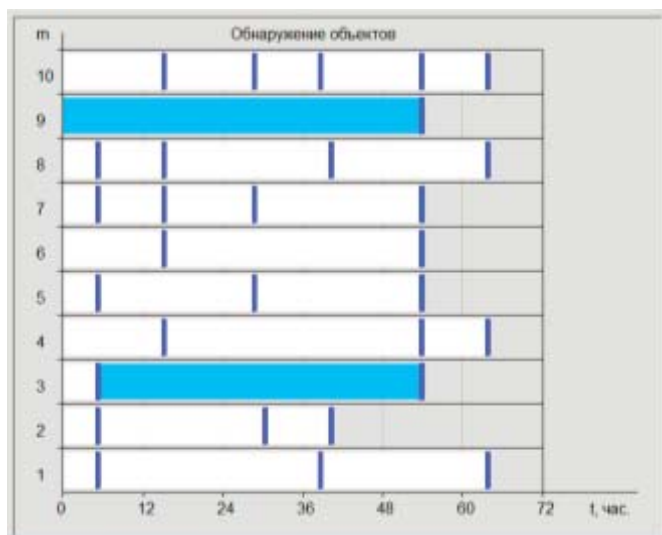


Рис. Отображение результатов одной реализации при моделировании процесса функционирования КС и 10 сценариях действий объекта

Количество благоприятных исходов опытов по каждому из сценариев на интервале оценки соответствует количеству обнаружений объекта (по первому сценарию – 3, по второму – 3, по третьему – 2 и т.д.), а его последующее нормирование по этому интервалу (в сутках) – количеству обнаружений в сутки. Для практических целей часто используют усредненное по всем сценариям, а при более детальном исследовании – минимальное и максимальное значения данного показателя ($k_{ср.}$, $k_{мин.}$, $k_{макс.}$ соответственно).

Измерение интервалов времени между обнаружениями объекта (при его действиях по всем сценариям) и их последующая статистическая обработка позволяют построить дифференциальный и интегральный законы распределения вероятностей попадания в такие временные интервалы. Для понимания и удобства восприятия может быть задан определенный уровень вероятности (например, 0,8) попадания в интервалы времени между обнаружениями объекта $T_{0,8}$ при равновозможном времени начала решения задачи мониторинга. На рисунке такие интервалы показаны белым цветом. На

практике это означает, что время ожидания последующего обнаружения объекта (с вероятностью не ниже 0,8) не превысит максимального значения таких интервалов. Интервалы, превышающие это значение, показаны на рисунке более темным цветом (третий и девятый сценарии действий объекта).

Иными словами, результаты моделирования процесса функционирования КС (при различных сценариях действий объекта) позволяют после их статистической обработки получать искомые оценки прогноза результатов применения систем в интересах информационного обеспечения МТ. Путем добавления блоков ввода исходных данных, накопления результатов моделирования, их статистической обработки и визуализации получаемых оценок показателей в удобном для выполнения исследований виде производится преобразование компьютерных моделей в компьютерную методику в рамках разработанного метода. Подробное описание форм отображения выходных данных компьютерных моделей и методики содержится в [4].

Получаемые с помощью разработанного метода, компьютерных моделей и методики зависимости представленных выше показателей $W_{сл.}$, $k_{ср.}$, $T_{0,8}$ от заданных условий (границ ОВПО, маршрутов и скоростей перемещения объекта, допустимого времени устаревания данных, состава и баллистической структуры орбитальной группировки КА, характеристик БСК и т.д.) позволяют на выбранном интервале оценки составить достаточно полный прогноз результатов применения космических радиолокационных систем в интересах информационного обеспечения МТ. Иллюстрацией такого прогноза являются оценки указанных показателей, выполненные для различных сценариев действий объекта в районах Баренцева, Белого, Черного и Японского морей, а также для трансокеанских переходов. Оценки выполнялись для КС с орбитальной группировкой 1-12 КА типа «Кондор».

Установлено, что при высокой вероятности фиксации объекта ($P_{фикс.} = 0,9$) и большом допустимом времени устаревания данных ($T_{уст.} = 1$ сутки и выше) практически достаточно одного-двух КА для решения задачи слежения за объектом в рассматриваемых районах ($W_{сл.} = 0,77-1,00$), а при малом ($T_{уст.} = 1$ час) – даже при шести КА в составе ОГ слежение за объектом будет проблематичным ($W_{сл.} = 0,25-0,73$). Резкое (до восьмикратного) изменение интервала времени между обнаружениями объекта $T_{0,8}$ происходит при наращивании ОГ до двух-трех КА, при дальнейшем увеличении состава орбитальной группировки этот параметр изменяется более плавно. Приемлемые для решения большинства практических задач интервалы времени между обнаружениями объекта ($T_{0,8} = 1,5-6$ часов) могут быть получены при составе ОГ 4-6 КА в высоких широтах; в низких широтах даже при 6 КА этот показатель не лучше 6,5 часа.

В целом, интервал времени между обнаружениями объекта с вероятностью, не ниже заданной, является сильно вариативным показателем. Он изменяется в широких пределах и зависит не только от широты, но и долготы района наблюдения. В настоящее время он изучен недостаточно, и требуются дополнительные исследования для его оценки и интерпретации применительно к характеру решаемых задач, составу орбитальной группировки и характеристикам бортовых спецкомплексов КА.

Количество обнаружений объекта в сутки $k_{ср.}$ (в отличие от других показателей) практически прямо пропорционально количеству КА в орбитальной группировке. В среднем, количество обнаружений в сутки для районов Баренцева и Белого морей при последовательном наращивании ОГ от одного до шести КА составляет 4,4-27,5 и 2,3-15,4 соответственно; для низкоширотных районов этот показатель примерно в два раза хуже, и при орбитальной группировке 6 КА он не превышает 6,8-8,0. Данный показатель, в определенном смысле, можно считать усредняющим и иллюстрирующим потенциальные возможности КС при гипотетически равномерном распределении

обнаружений объекта. Однако на практике возможно лишь некоторое приближение к реализации этих возможностей при оптимизации баллистической структуры орбитальной группировки и характеристик КА.

В процессе прогнозирования результатов применения космических радиолокационных систем в интересах информационного обеспечения МТ при трансокеанских переходах объектов был введен дополнительный показатель – максимальное время, необходимое для обнаружения объекта с момента начала перехода $T_{\text{обн.}}$.

Одновременно исследовалось влияние вероятности фиксации объекта $P_{\text{фикс.}}$ на оцениваемые показатели. Было установлено, что при ограниченных составах орбитальной группировки (1-3 КА) и низкой вероятности фиксации объекта ($P_{\text{фикс.}} = 0,2$) объект может быть не обнаружен на этапе перехода (ОГ – 1 КА), или время, необходимое для его обнаружения, составит 5-8 суток (ОГ – 2-3 КА). Максимальный интервал времени между обнаружениями объекта с вероятностью не ниже 0,8 (при $P_{\text{фикс.}} = 0,2$) для 3-х КА составляет 3-5 суток (треть или половина маршрута перехода). Количество обнаружений объекта в сутки $k_{\text{ср.}}$ для указанных условий не превышает 0,5-1,3, что связано с различными широтными диапазонами маршрутов переходов.

Результаты исследований показали, что для практических целей (обнаружения объекта в первой трети маршрута перехода и периодического (3-4 раза в сутки) наблюдения за ним) $P_{\text{фикс.}}$ должна быть не менее 0,5, а состав ОГ – не менее 3-6 КА. Кроме того, была выявлена значительная вариативность минимальных и максимальных значений отдельных показателей ($k_{\text{мин.}}$, $k_{\text{макс.}}$, $T_{\text{обн.}}$) при ограниченном составе ОГ (1-3 КА). При этом средние показатели достаточно устойчивы. Для повышения достоверности получаемых результатов необходимо продолжить исследования в направлениях изменения других характеристик БСК КА, поиска рациональных вариантов построения орбитальной группировки КА, варьирования исходных данных по моменту начала перехода объекта.

Рассмотренная иллюстрация является частным случаем полученного опыта (в смысле «совокупности знаний, навыков, умений, вынесенных кем-либо из практической деятельности») прогнозирования результатов применения космических радиолокационных систем в интересах информационного обеспечения МТ [5]. В целом, совокупность полученных результатов прогноза не противоречит характеристикам КС, решающих задачи РЛИМ МП, но позволяет уточнять их применительно к особенностям функционирования этих систем в различных условиях обстановки, а также для перспективных КС, в том числе использующих другие методы фиксации объектов на морской поверхности [1, 2, 6].

Постоянное совершенствование ИМК позволяет прогнозировать результаты применения существующих и перспективных КС с учетом требований к данным космического мониторинга морской поверхности для различных образцов МТ. При этом особый интерес представляют исследования, связанные с оптимизацией баллистических структур орбитальных группировок КА, формированием глобальных и локальных карт периодичности обнаружения морских объектов, моделированием и прогнозом результатов применения многоярусных космических систем мониторинга морской поверхности, использованием различных (моностатическая, бистатическая) методов локации, структурного распознавания объектов в условиях сложной фоно-целевой обстановки и др. [4, 7].

Таким образом, рассмотрен сценарно-временной метод прогнозирования результатов применения космических систем наблюдения в интересах информационного обеспечения МТ и получены оценки показателей прогноза для

различных сценариев действий морских объектов в районах Баренцева, Белого, Черного и Японского морей, а также для трансокеанских переходов. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в интересах совершенствования существующих и при разработке перспективных средств информационного обеспечения морской техники.

Литература

1. **Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.З.** Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Гарбук С.В., Гершензон В.Е.** Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: Издательство А и Б, 1997.
3. **Землянов А.Б., Коссов Г.Л., Траубе В.А.** Система морской космической разведки и целеуказания. СПб.: ЗАО «Геоид», 2002.
4. **Анцев Г.В., Гуляков В.В., Калинов М.И., Родионов В.А.** Моделирование и оценка эффективности применения многоярусной космической системы мониторинга морской поверхности. Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн «Моринформсистема-Агат», 2017. № 2(12). С. 22-29.
5. Толково-энциклопедический словарь. СПб.: «Норинт», 2006.
6. **Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П.** Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех. Воронеж.: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2014.
7. **Гуляков В.В., Калинов М.И., Родионов В.А., Торгашов А.А.** Опыт разработки и применения имитационно-моделирующего комплекса информационных космических систем в научных исследованиях // Труды 18-й Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Том 4. СПб.: НПО Спецматериалов. 2015. С. 131-137.