

## **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ ФИКСАЦИИ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ В МНОГОЯРУСНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НАБЛЮДЕНИЯ**

**М.И. Калинов, В.А. Родионов, В.Г. Черкашин (Санкт-Петербург)**

В современных условиях при решении задач информационного обеспечения процесса эксплуатации морской техники широко применяются космические системы (КС) различного целевого назначения. Развитие космических средств наблюдения за морскими объектами предполагает создание и применение по целевому назначению многоярусных космических систем (МКС), в которых реализуются различные методы фиксации объектов наблюдения (ОН). Обоснование характеристик таких систем неразрывно связано с оценкой эффективности их применения. Существующие методы, модели и методики не позволяют в полной мере решать подобные задачи, поскольку не учитывают взаимного влияния результатов применения космических аппаратов (КА), реализующих различные методы фиксации морских объектов. Поэтому для большей корректности методики оценки эффективности применения МКС необходимо, в первую очередь, разработать основные принципы оценки взаимного влияния результатов применения КА системы, реализующих различные методы фиксации морских объектов,

В процессе выполненных ранее исследований были разработаны два основных метода оценки эффективности применения космических систем наблюдения (КСН) за морскими объектами: сценарно-временной метод (СВМ) и разностно-дальномерный метод (РДМ) [1,2]. СВМ используется при оценке эффективности применения низкоорбитальных КСН, реализующих фазовый и радиолокационный методы фиксации объектов наблюдения, а РДМ – КСН с КА на средних, высокоэллиптических и геостационарных орбитах на основе разностно-дальномерных измерений характеристик источников радиоизлучений (ИРИ) на морской поверхности.

Эти методы существенно различаются по правилам определения факта появления события «обнаружение объекта» (СВМ) и расчета вероятности обнаружения объекта с заданной точностью определения координат (РДМ). В СВМ с помощью модели орбитального движения КА и модели движения ОН в заданном районе используется пять основных правил (проверок) для определения по каждому из сценариев возможных действий ОН, имитирующих неопределенность его положения, факта появления события «обнаружение объекта», а затем – вероятности обнаружения ОН. К этим правилам относятся правила проверки накрытия полосой обзора КА заданного района, попадания объекта в полосу обзора КА, фиксации объекта бортовым специальным комплексом КА, приема данных на пункте приема информации (ППИ), распознавания объекта.

В РДМ оценки эффективности применения КСН используется другая схема имитации неопределенности положения объекта. Основным правилом в этом методе является правило построения области возможного положения (ОВП) ИРИ на морской поверхности. Считается, что ОН может находиться в пределах некоторой заданной области положения (ЗОП), удовлетворяющей требованиям потребителя информации по точности определения координат. Однако область возможного положения объекта наблюдения может превысить ЗОП.

Размеры и конфигурация ОВП ОН при разностно-дальномерном методе фиксации ИРИ определяются пересечением полос положения объектов на поверхности вращающейся Земли. Полосы положения объектов образуются пересечением

внутренних и внешних границ гиперboloидов вращения (поверхностей положения РДМ, смещенных с учетом точности измерения радиотехнического параметра и условий наблюдения) с земной поверхностью. В этом случае удобнее характеристику неопределенности положения ОН фиксировать не как событие «обнаружение ОН», а в виде вероятности обнаружения ОН с заданной точностью определения координат.

Существенной особенностью РДМ оценки эффективности применения КСН является допущение о том, что ИРИ находится в центре заданного района, и полученные результаты оценок можно распространить на весь район. Кроме того, для ускорения вычислительной процедуры применялся значительно больший шаг по времени, чем в СВМ.

Указанные особенности предопределили формирование основных принципов оценки взаимного влияния результатов применения КА, реализующих различные методы фиксации ОН, в многоярусной космической системе наблюдения:

- принцип единых сценариев действий ОН;
- принцип единого шага по времени;
- принцип единого времени устаревания данных об обнаруженных объектах.

Принцип единых сценариев действий ОН предполагает, что и в СВМ, и в РДМ оценки эффективности применения КСН одновременно реализуются одни и те же варианты действий объекта наблюдения. При этом ранее применявшиеся в СВМ правила розыгрыша координат объектов, связанные с пролетом КА над заданным районом, в дальнейшем не используются. Для определения частных значений курса и скорости движения объектов в заданном районе используется датчик случайных чисел. В целях имитации неопределенности считается, что курсы объектов равновероятны, а их скорости выбираются в диапазоне от минимальной до максимально возможной. Смена курса происходит или через некоторое (заданное) время, или при подходе объекта к границе района. В последнем случае курс объекта выбирается таким образом, чтобы он оставался в заданном районе. Графическая иллюстрация реализации принципа единых сценариев в СВМ (состав орбитальной группировки (ОГ) – один КА) показана на рисунке 1.

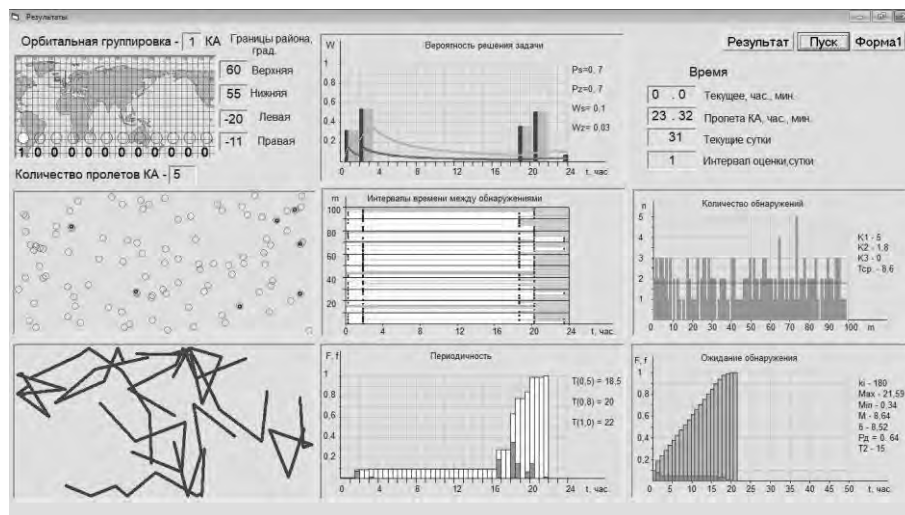


Рис. 1 – Реализация принципа единых сценариев в СВМ

В отличие от известной формы представления результатов моделирования и оценки эффективности применения КСН [2], в левой средней части рисунка показано текущее состояние и положение всех разыгрываемых объектов, а в нижней левой части – траектории движения первых 10 объектов в течение суток. Применение

представленной формы удобно для контроля процесса движения объектов и смены их курсов в соответствии с указанной выше логикой имитации неопределенности.

Аналогичная операция выполнена и для РДМ оценки эффективности применения КСН (рисунок 2). В процессе исследований было произведено сравнение результатов оценки эффективности применения КСН по одному объекту (ИРИ), находящемуся в центре заданного района, и по 10 объектам, маневрирующим в заданном районе (состав ОГ – два КА на средней орбите, один КА на высокоэллиптической орбите, два КА на геостационарной орбите). Визуализация исследуемых параметров и показателей показала:

- угол места наблюдения каждого КА в зоне радиовидимости может отличаться для каждого из разыгрываемых объектов на 5-10 градусов;
- значения вероятностей решения задачи слежения за ОН ( $W_2$ ,  $W_3$ ) для варианта с одним объектом и варианта с 10 объектами отличаются незначительно (на один – два процента);
- отличие внешнего вида и характеристик законов распределения вероятностей попадания в интервалы между обнаружениями объектов также несущественно.

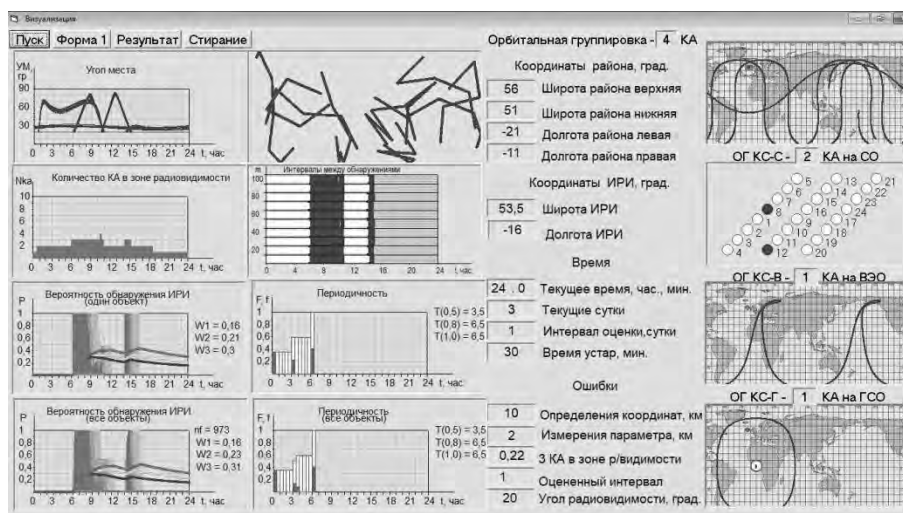


Рис. 2 – Реализация принципа единых сценариев в РДМ

Одновременно с принципом единых сценариев действий ОН в представленных примерах был реализован и принцип единого шага по времени. Выбранный шаг по времени 20 с (по аналогии с СВМ) существенно повлиял на скорость решения задачи на ПЭВМ.

Принцип единого времени устаревания данных об обнаруженных объектах необходим для коррекции значения вероятности правильного распознавания обнаруженных объектов, являющейся функцией от этого времени. Для реализации этого принципа по каждому из объектов, имитирующих неопределенность положения ОН в заданном районе, на каждом шаге по времени рассчитывается текущее значение времени устаревания данных. Если происходит обнаружение какого-либо объекта, то время устаревания данных о нем обнуляется.

Кроме того, в РДМ оценки эффективности применения КСН произведен переход от вероятности обнаружения ИРИ с заданной точностью определения координат к событию «обнаружение объекта» для единой формы представления результатов применения КСН с КА на всех типах орбит. Такой переход производится по схеме сравнения полученного значения вероятности обнаружения ИРИ с некоторым заданным критериальным значением (например, 0,9) по всей совокупности

разыгранных объектов и фиксации (по результатам сравнения) факта появления события «обнаружение объекта».

Изложенные выше принципы и их практическая реализация позволили преобразовать известные методы оценки эффективности применения КСН (СВМ и РДМ) в единый комбинированный метод, в котором производится учет взаимного влияния результатов применения КА с разными методами фиксации ОН. Путем детализации правил метода он трансформирован в соответствующую методику. Учет взаимного влияния осуществляется следующим образом. На каждом шаге по времени по каждому разыгранному объекту (сценарию возможных действий ОН):

- рассчитывается время устаревания данных;
- производится комплекс проверок, необходимых для выявления факта появления события «обнаружение объекта», в том числе определяется вероятность правильного распознавания объекта с учетом текущего значения времени устаревания данных;
- определяются текущие параметры зоны неопределенности.

Полученные новые значения вероятности правильного распознавания объекта являются учетом влияния (через текущее время устаревания данных) результатов обнаружения объектов (ИРИ), зафиксированных разностно-дальномерным методом на морской поверхности, на результаты фиксации объектов фазовым или радиолокационным методами. В свою очередь, уменьшенные параметры зоны неопределенности для РДМ фиксации объектов (также через текущее время устаревания данных) являются учетом влияния результатов фиксации объектов низкоорбитными КА на результаты фиксации объектов разностно-дальномерным методом. Графическая иллюстрация влияния результатов разностно-дальномерной фиксации ОН на результаты применения низкоорбитных КА представлена на рисунках 3 и 4. Считается, что при независимом применении КА взаимное влияние не учитывается, а при совместном – такой учет производится. На рисунках используются следующие обозначения: КС-1 – КС с низкоорбитными КА; КС-2 – КС с КА, реализующими РДМ; КС – многоярусная КСН; W2 (W3) – вероятность слежения с допустимым временем устаревания данных 0,5 (1,5) часа. В состав ОГ многоярусной КСН входят 1 КА на низкой орбите, 2 КА на средней орбите 1 КА на высокоэллиптической орбите, 1 КА на геостационарной орбите.

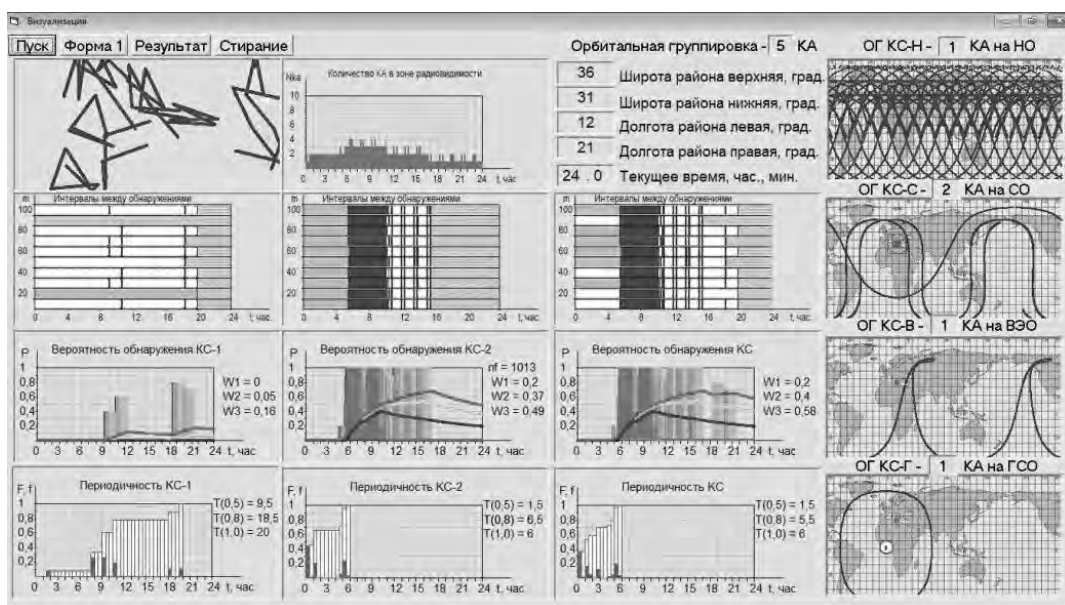


Рис. 3 – Результаты независимого применения КА многоярусной КСН

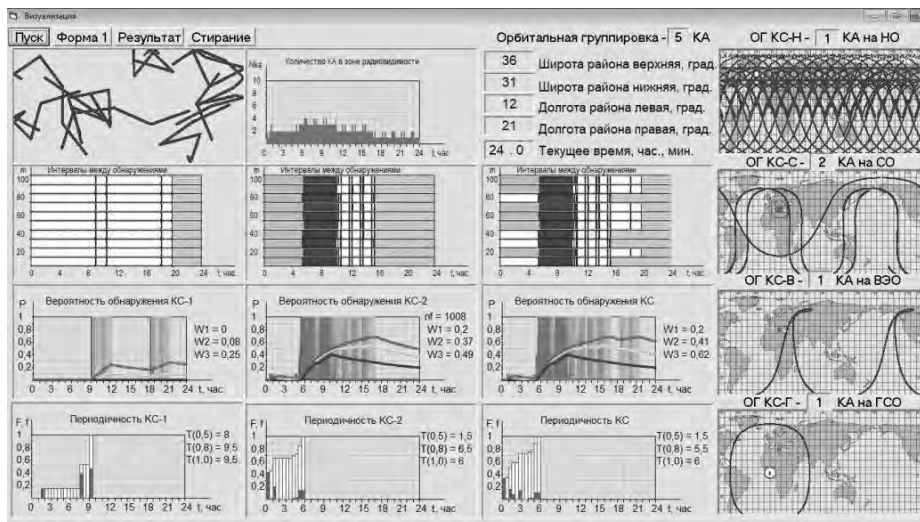


Рис. 4 – Результаты совместного применения КА многоярусной КСН

Анализ полученных данных показал следующее:

- при независимом применении КА (рисунок 3) вероятность решения задачи слежения за ОН низкоорбитным КА при допустимом времени устаревания данных 0,5-1,5 часа составляет 0,05-0,16, а при совместном – увеличивается до 0,08-0,25;
- вероятность решения задачи слежения (с указанным допустимым временем устаревания данных) многоярусной КСН увеличивается с 0,40-0,58 до 0,41-0,62;
- максимальный интервал времени между обнаружениями объектов с вероятностью не ниже 0,8 снижается практически в 2 раза: с 18,5 часов (независимое применение КА) до 9,5 часов (совместное применение КА).

Иными словами, наиболее чувствительными к реализации разработанных принципов являются вероятность решения задачи слежения низкоорбитными КА (приращение составило до 9%), периодичность наблюдения ОН улучшилась практически в 2 раза.

Таким образом, разработаны основные принципы оценки взаимного влияния результатов применения космических аппаратов, реализующих различные методы фиксации морских объектов, в многоярусной космической системе наблюдения. Реализация этих принципов в комбинированном методе и методике оценки эффективности применения многоярусной КСН в рассмотренном диапазоне исходных данных показала, что при совместном применении КА системы возможно существенное повышение вероятности слежения за морскими объектами и значительное улучшение периодичности наблюдения по данным, добываемым низкоорбитными КА. Полученные результаты могут быть полезными при информационном обеспечении процесса эксплуатации морской техники.

#### Литература

1. **Калинов М.И., Калинов П.М., Родионов В.А.** Имитационное моделирование и оценка эффективности применения информационных космических систем при проектировании и эксплуатации морской техники // Труды Третьей международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» – «ИКМ МТМТС-2015». СПб.: СПИИРАН, 2015. С. 88-92.
2. **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.