

## СИСТЕМА ИМИТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ И ТРЕНИРОВКИ ОПЕРАТОРОВ

**Чекушкин Всеволод Викторович**

доктор технических наук, профессор Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».  
E-mail: chekvv@gmail.com.

Адрес: 602264 Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д. 23.

**Царьков Михаил Алексеевич**

начальник бюро АО «Муромский завод радиоизмерительных приборов».

**Антуфьев Алексей Владимирович**

инженер-конструктор 1-й категории АО «Муромский завод радиоизмерительных приборов».

Адрес: 602264, г. Муром, Карачаровское ш., 2.

*Аннотация:* Рассмотрены методы создания и реализации основных элементов предметно-обучающей среды для подготовки специалистов систем контроля воздушного пространства, а также для контроля тракта обработки информации радиолокационных станций (РЛС), отладки алгоритмов и технических решений аппаратуры. Приведены структура и алгоритмы работы системы имитации сложной помехо-целевой обстановки в зоне ответственности РЛС на прямоугольном участке местности размером порядка 800x800 км. Максимальное время существования модели несколько часов, предусмотрено формирование активных и пассивных помех, отражений от метеообразований, местных предметов. Имитируемые эхосигналы вводятся в сечения тракта РЛС и проходят все стадии обработки информации: обнаружения сигналов, формирования отметок целей в виде координатных точек с соответствующими значениями азимута, дальности высоты, формирования трасс.

*Ключевые слова:* воздушная обстановка, тестовые воздействия, траектория движения, помехи.

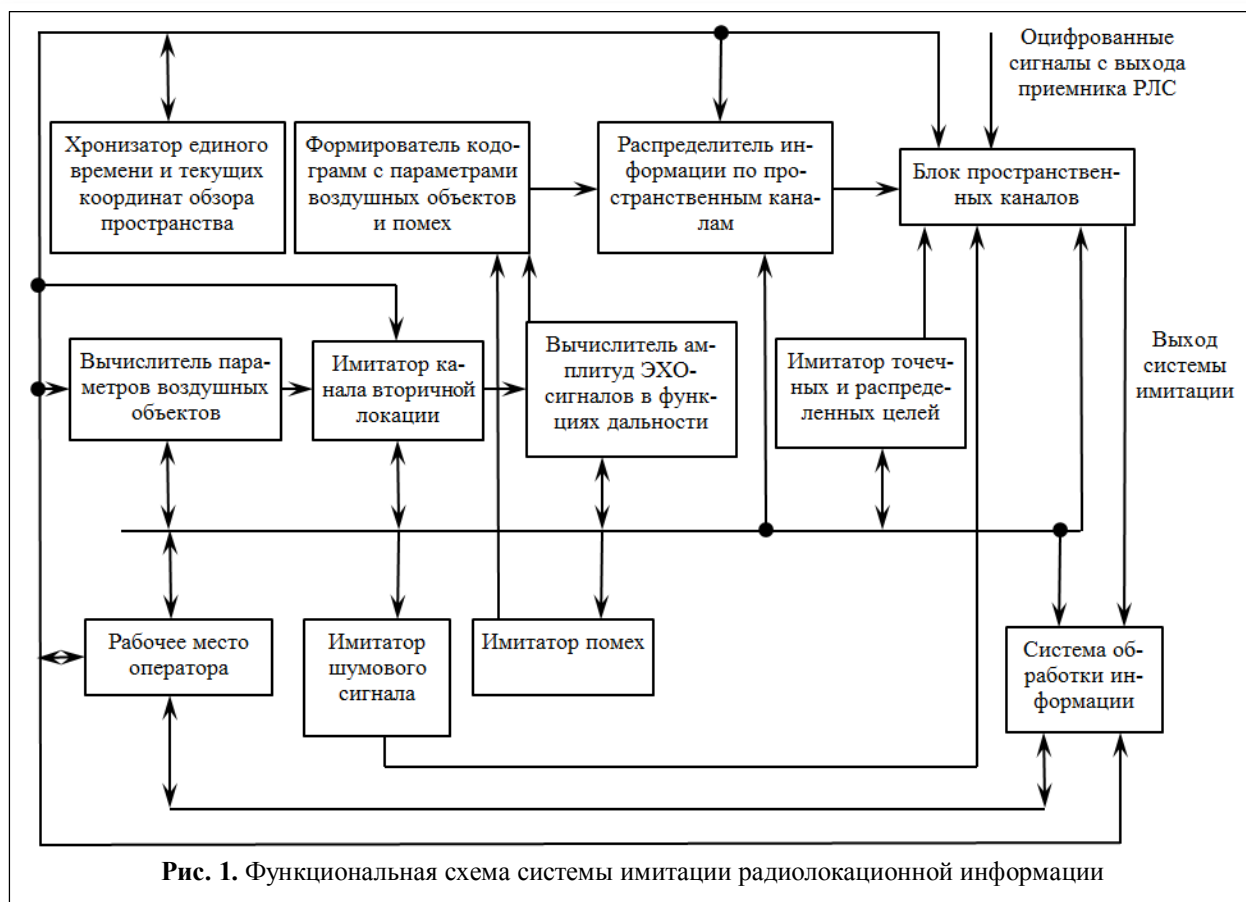
Для тренировки расчетов радиолокационных станций (РЛС) необходимо обеспечить задание сложной воздушной обстановки с осуществлением объективного контроля результатов работы операторов [1]. Встроенный моделирующий комплекс должен обеспечивать имитацию воздушной обстановки максимально приближенную к реальным условиям. Кроме того, такой комплекс параллельно используется и для генерации тестовых воздействий при встроенном функционально-диагностическом контроле аппаратуры [2-4].

Работа операторов с моделирующим комплексом, заданием сценариев воздушной обстановки, реализацией его взаимодействия с системами РЛС приведена в [5-7]. Предложены методы имитации кинематики движения воздушных объектов на участках маневрирования с плавным сопряжением прямолинейных отрезков траектории кубическими параболами и

дугами окружностей кубических парабол [8-10]. В тоже время актуальна и непосредственная реализация алгоритмов работы структуры системы с имитацией сложной помехо-целевой обстановки, формированием активных и пассивных помех, отражений от метеообразований, местных предметов.

Цель статьи - разработка структуры и алгоритмов работы системы имитации радиолокационной информации и тренировки операторов. Производится моделирование сложной воздушно-помеховой обстановки в зоне ответственности РЛС на прямоугольном участке местности размером 800x800 км. Радиолокационная информация формируется (имитируется) в соответствии с естественным методом и темпом обзора воздушного пространства.

Система имитации радиолокационной информации обеспечивает: возможность моделирования сложной воздушно-помеховой



обстановки в зоне ответственности РЛС на прямоугольном участке местности размером порядка 800x800 км; максимальное время существования модели несколько часов; запись результатов моделирования в выходной файл специального формата; имитацию до 200 целей с независимыми траекториями, включая групповые цели с количеством объектов в группе до 10; ввод областей активных шумовых помех, сигналов с постановщиков пассивных помех; ввод до 20 областей естественных помех (метеоподобия, местные предметы), а также в режиме автономной работы шумов с выходов приёмных каналов РЛС. При моделировании учитываются эффективная поверхность рассеивания (ЭПР) цели с учётом её типа, назначенных режимов обзора пространства и обработки информации, уровни активных шумовых помех (АШП). Имитируемые эхосигналы проходят все стадии обработки информации: обнаружения сигналов, формирования отметок целей в виде координатных точек с

соответствующими значениями азимута, дальности, высоты, формирования трасс.

Система имитации радиолокационной информации (рис.1-3) работает следующим образом. Инструктор вручную на рабочем месте оператора задаёт сценарий воздушной обстановки в зоне ответственности РЛС, осуществляет с помощью графических интерфейсов и электронного меню управление системами и режимами на экране монитора рабочего места оператора [11]. Сформированный оператором налет, состоящий из траекторий движения воздушных объектов (до 200), с привязанными к ним параметрами и моделями как источников вторичного излучения, активных каналов вторичной радиолокации, обеспечивающими получение дополнительной информации о воздушных объектах, помехах и т.д. записывается в файл определения воздушной обстановки (ФОВО). Работу с файлами обеспечивает программа ввода информации и имитации воздушной обстановки для СЭВМ рабочего места



Рис. 2. Функциональная схема блока пространственных каналов

оператора. Управление файлами осуществляется посредством электронного меню воздушной обстановки на экране системы отображения и формирования ФОВО. Активные шумовые помехи (АШП), активные синхронные и несинхронные импульсные помехи (АСИП, АНИП), пассивные помехи (ПП), привязанные к конкретным воздушным объектам, задаются с помощью подменю «ПОМЕХА» и т.д.

Исходные данные для формирования точечных и распределённых объектов также задаются на экране монитора рабочего места оператора. Координаты центров объектов задаются в плоскостной (прямоугольной) системе координат в зоне ответственности РЛС. Для распределённых объектов в полярной системе координат задаются в двоичных кодах линейные и угловые размеры, например, с ценой деления младшего разряда по дальности 125 м и азимуту  $360^{\circ}/4096=0,0879^{\circ}$ . Производится загрузка, аналитически или таблично, диаграмм направленности антенны (ДНА), например, в азимутальной плоскости в табличной форме в виде пар значений: угол  $\phi$ , коэффициент направленного действия (КНД). КНД является функцией симметричного рассогласования от аргумента угла  $\phi$  положения максимума главного лепестка ДНА  $A_d(\phi) = \max$  при  $\phi=0$ . Вводится также программа обзора пространства РЛС, которая включает задание способа сканирования антенны по угловым координатам с определением характеристик физических эталонов единого времени и датчиков-

имитаторов азимута, угла места и текущей дальности обзора пространства, параметров сложного зондирующего сигнала передатчика с большой базой.

Сформированный ФОВО в виде параметрически представленных уравнений траекторий движения воздушных объектов в функции времени  $t$ , привязанных к ним с заданными параметрами постановщиков активных и пассивных помех, вспомогательных сигналов различного вида, метеобразований, местных предметов и т.д. в виде кодограмм по стандартным интерфейсам передается через СЭВМ рабочего места оператора на модули системы имитации радиолокационной информации для задания алгоритмов их работы. После передачи информации о формируемом воздушном налёте (ФОВО) рабочее место оператора перестаёт выполнять функции рабочего места инструктора, и, с целью экономии аппаратуры, оно начинает функционировать в качестве рабочего места оператора с отображением воздушной обстановки в полярной системе координат в зоне ответственности РЛС.

Работа системы в режиме имитации (рис. 3) подготовленного сценария воздушной обстановки начинается по команде «Старт» с рабочего места оператора в момент времени  $T_0$  и продолжается в интервале  $t \in [T_0; T_L]$ . Хронизатор единого времени и текущих координат обзора пространства осуществляет формирование текущей информации и запросы на расчёт координат.



В соответствии с переданными с рабочего места оператора уравнениями движения воздушных объектов по трём координатам  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  в вычислителе параметров воздушных объектов периодически в ответ на запросы информации о текущем положении объектов из хронизатора вычисляются их декартовы и сферические координаты путём подстановки параметра времени  $t$  в уравнения движения, соответствующие преодолеваемому в момент времени  $t$  участку траектории [8]. Вычислитель амплитуд эхо-сигналов в функциях дальности осуществляет вычисление произведений  $S_k A_k(D)$ , где  $S_k$  – эффективная отражающая поверхность  $k$ -ого воздушного объекта,  $A_k(D)$  – затухание сигнала в зависимости от расстояния  $D$  воздушного объекта до РЛС. Производится расчет радиальных скоростей объектов и частот Доплера в соответствии с выражением  $F_g = 2V_p / \lambda$ , где  $\lambda$  – длина рабочей волны передатчика. Частота  $F_g$  в дальнейшем определяет ближайший номер доплеровского канала с соответствующим сдвигом спектра частоты в модели при замешивании отраженного эхо-сигнала в комплексный эхо-сигнал в формирователе комплексных эхо-сигналов с привязкой к обзору пространства. Предусмотрен режим автоматического опознавания по запросу от системы обработки информации. В этом случае для заданных воздушных объектов с активными каналами вторичной радиолокации в имитаторе канала активной вторичной радиолокации привязываются их соответствующие признаки, определенные в ФОВО. Имитатор канала активной вторичной радиолокации реализует стандартный протокол обмена информацией с РЛС в объеме, достаточном для идентификации воздушного объекта, например, для его опознавания.

Рассчитанные координаты воздушных объектов с амплитудами отражённых сигналов с учётом отражающей поверхности и удалённости отражающего объекта от места стояния РЛС и с соответствующими частотами Доплера подаются в формирователь кодограмм с параметрами воздушных объектов и имитируе-

мыми помехами, в котором для каждого воздушного объекта проверяется время начала и конца формирования активных шумовых, импульсных помех и т.д. Например, при наступлении времени формирования активной шумовой помехи к кодограмме «Замес» с параметрами воздушного объекта в формирователе кодограмм с параметрами воздушных объектов и имитируемыми помехами добавляются ложные сигналы определённой мощности, например, в виде отсчётов белого Гауссова шума, получаемого путём суммирования двенадцати шумов с равномерным законом распределения в имитаторе помех. Помеха имеет ширину спектра, перекрывающую ширину спектра зондирующего сигнала.

Сформированные кодограммы воздушных объектов в соответствии с их сферическими координатами в распределителе информации по пространственным каналам разделяются на несколько пространственных каналов  $N_1 \dots N_n$ . Обработка информации в различных пространственных каналах осуществляется однотипно с применением ДНА, соответствующей конкретному пространственному каналу. Имитатор шумового сигнала формирует шумы приёмного тракта РЛС. Эти шумы формируются, например, из последовательности максимальной длины. Коэффициенты формирующего полинома записываются в память процессора имитации шумового сигнала. В совмещённом режиме работы замешивание шумов с имитатора шумового сигнала в комплексный эхосигнал не производится. Вычислитель параметров воздушных объектов и другие блоки реализуются, например, на основе процессоров 1892 ВМ2Т производства ГУП НПП «ЭЛВИС». Для их программирования использовался язык ассемблер, операционная система Windows 98/98SE/NT/2000/XP [10].

Алгоритм работы и структура реализации процесса в имитаторе точечных и распределённых объектов осуществляется исходя из того, что эти объекты не изменяют своего пространственного положения от периода к периоду зондирования РЛС. Модели распределённых объектов получают путём формирования цифровых карт с разбиением объекта на сумму элементов и интегрированием отражений от этих элементов с учётом их спектральных характеристик. Соответствующий модулятор амплитуд эхосигналов по текущим координатам

блока пространственных каналов точечных и распределённых объектов осуществляет перемножение выражений  $S_k A_k(D)$  на коэффициент модуляции  $A_A(\phi)$ , определяемый формой диаграммы направленности в соответствии с коэффициентом направленного действия  $A_A(\phi)$ , азимут  $\gamma_k$  воздушного объекта и угловым положением антенны  $\beta$ : например, в азимутальной плоскости  $A_{pk} = S_k(D) A_A(\beta - \gamma_k)$ . После чего в формирователе комплексных эхосигналов с привязкой к обзору пространства по определённой для воздушного объекта частоте Доплера выбирается соответствующий ближайший канал Доплера со своей моделью изменения спектра сложного зондирующего сигнала. Таких каналов для диапазона скоростей воздушных объектов, например, с диапазоном доплеровских частот от 0 до  $\pm 23$  кГц с дискретом 1,5 кГц может быть порядка 30-ти.

Эхо-сигналы с амплитудами, промодулированными в соответствии с текущими координатами обзора пространства РЛС в виде полных пакетов информации о воздушной обстановке, упорядоченно в порядке увеличения текущей дальности воздушных объектов записываются в приёмное оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) обмена данными типа «первый зашёл – первый вышел» (FIFO). После чего производится выдача данных в порядке очередности их поступления с привязкой к внешней хронизации по единому времени, текущим углам обзора пространства антенной, началу рабочей дистанции РЛС и дискретному изменению текущего линейно-нарастающего кода дальности с элементом разрешения, например, 125 м, соответствующим дискретом 0,833 мкс выдачи информации из ОЗУ в виде пачки отметок дистанции.

Предусмотрены автономный и совмещённый режимы работы. В первом режиме с формирователя комплексных эхосигналов с привязкой к обзору пространства через коммутатор-смеситель сигналов на систему обработки информации РЛС выдается в реальном масштабе времени только имитируемая текущая радиолокационная информация, например, в виде 12-ти разрядных двоичных кодов (с учётом знака). Радиолокационная информация в виде комплексных имитационных сигналов формируется в соответствии с заданным ФО-



ВО и выбранным методом и темпом обзора воздушного пространства антенной системой РЛС по азимуту, угломестным каналам и дальности в сферической системе координат РЛС во временном интервале воздушного налета. В совмещённом режиме работы в коммутаторе-смесителе сигналов производится наложение вторичной имитируемой обстановки с выхода формирователя комплексных эхо-сигналов с привязкой к обзору пространства на первичную воздушную обстановку с выхода приёмника РЛС. Команда переключения режимов работы на коммутатор-смеситель сигналов и имитатор шумового сигнала задается с рабочего места оператора.

### Заключение

Предложены структура и алгоритмы работы системы имитации радиолокационной информации и тренировки операторов. Обеспечена возможность моделирования сложной воздушно-помеховой обстановки в зоне ответственности РЛС на прямоугольном участке местности размером порядка 800x800 км. Радиолокационная информация формируется (имитируется) в соответствии с естественным методом и темпом обзора воздушного пространства. Имитируемые эхосигналы, активные шумовые помехи, пассивные помехи, метеообразования, местные предметы вводятся в сечения тракта РЛС и проходят все стадии обработки информации: обнаружения сигналов, формирования отметок целей в виде координатных точек с соответствующими значениями азимута, дальности высоты, формирования трасс.

### Литература

1. Безяев В.С., Воробьев А.Н. Тренажерный комплекс подсистемы управления средствами ПВО // Вопросы радиоэлектроники. сер. ЭВТ. 2008, вып.5. - С. 17-24.
2. Щербаков Н.С., Самхарадзе Т.Г., Рыбин В.М. Построение универсальной встроенной иерархиче-

*Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 14-07-00293.*

**Поступила 12 февраля 2015 г.**

ской системы диагностирования сложных радиоэлектронных комплексов // Приборы и системы Управление. Контроль. Диагностика. 2012. № 4. С. 46-50.

3. Лепехина Т.А., Николаев В.И. Аппаратно-программное обеспечение стенда полунатурного моделирования для наземных испытаний космических радиолокаторов с синтезированной апертурой // Радиотехника. 2013, № 1. - С.53-57.

4. Чекушкин В.В. Встроенный автоматизированный контроль электронных систем // Приборы и системы управления. 1999, № 7. - С. 42-45.

5. Антуфьев Р.В., Богатов Д.Д., Пискунов Г.Г., Чекушкин В.В. Тренажерно-моделирующий комплекс для систем контроля воздушного пространства и управления воздушным движением. // Вопросы радиоэлектроники, сер. «Радиолокационная техника (РЛТ)». 2010, Вып.1. -С. 193-201.

6. Антуфьев Р.В., Бобров М.С., Пискунов Г.Г., Царьков М.А. Тренажерно-моделирующий комплекс РЛС // Вестник воздушно-космической обороны. 2014, № 3.-С. 5-8.

7. Антуфьев Р.В., Бобров М.С., Пискунов Г.Г., Чекушкин В.В., Пантелеев И.В., Царьков М.А. Патент РФ на изобретение № 2489753. «Способ и устройство имитации радиолокационной информации» // Изобретения. Полезные модели. 2013, Бюл. № 22.

8. Аверьянов А.М., Бобров М.С. Чекушкин В.В. Имитация траектории движения объектов для радиолокационных систем управления и контроля воздушного пространства. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009, № 9. - С. 70-78.

9. Аверьянов А.М., Бобров М.С. Чекушкин В.В. Патент РФ на изобретение №2419072 №14 «Способ имитации траекторий движения воздушных объектов» // Изобретения. Полезные модели. 2011. Бюл. № 14.

10. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009611848 от 09.04.2009 «Программа сглаживания траекторий движения воздушных объектов для радиолокационных систем управления (Trajectory)». Заявка № 2009610537 от 16.02.2009.

11. Юрин О.В., Чекушкин В.В., Дударев В.А. Автоматизированная система управления радиолокационным комплексом // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. 2004, №1.- С. 18-21.

**English**

### Radar data simulation system and operators training

**Vsevolod Viktorovich Chekushkin** - Doctor of Engineering, Professor Murom Institute (branch) "Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov".

*E-mail:* chekvv@gmail.com.

*Address:* Orlovskaya st., 23, Murom, 602264.

**Mikhail Alekseevich Tsarkov** - Bureau head JSC "Murom Plant of Radio Measuring Instruments".

**Alexey Vladimirovich Antufyev** – 1st category engineer – designer JSC "Murom Plant of Radio Measuring Instruments".

*E-mail:* global@mzrip.ru.

*Address:* 602264, Murom, Karacharovskoye Highway, 2.

*Abstract:* Creation and implementation methods of training environment basic elements of subject training environment for training specialists of air space control systems, as well as for data processing chain control radar stations (RS), for algorithms debugging and technical solutions of equipment are examined in the article. Structure and algorithms for operation of radar data simulation system and operators training are presented. Modeling of heavy air jamming environment in RS area of responsibility within rectangular terrain sector about 800x800 km is provided; model maximum lifetime is a few hours; modeling results recordings have specific output file format; 200 targets simulation with separate paths, including multiple targets up to 10 in one set are provided; input of areas of active noise interferences, signals from directors of passive noises; active noise jamming spheres and signals from passive jamming stations are introduced; up to 20 natural jamming spheres (moisture targets, topographic features) as well as in mode of autonomous noise generation RS receiving channels' outputs are introduced. When modeling effective area of target dispersion with regard to its type, assigned surveillance mode and data processing mode are taken into account. Radar data is generated (is simulated) according to natural method and air surveillance speed. Emitted echo signals are put into RS path cross-sections go through all data processing stages: signal detection, targets marking as location points with corresponding azimuth values, altitude range, defining air routes. Standalone and combined operation modes are provided. The first mode involves complex echo signal shaper with reference to air surveillance via signal switch mixer feeding only simulated current real-time radar data into RS data processing system. Combined operation mode involves signal switch mixer where secondary simulated environment from output of complex echo signals shaper with reference to air surveillance is imposed on primary air environment from RS receiver output.

*Key words:* air environment, test input, movement, motion path, jamming.

### References

1. Bezyaev V. S., Vorobyov A.N. Training facility of anti-aircraft weapons control subsystem Voprosy radioelektroniki. ser. EVT. 2008, publ.5. – pp. 17-24.
2. Scherbakov N. S., Samkharadze T.G., Rybin V.M. Development of universal built-in hierarchical system for testing sophisticated radioelectronics. - Pribory i sistemy Upravleniye. Kontrol. Diagnostika. 2012. No. 4. pp. 46-50.
3. Lepyokhina T.A., Nikolaev V. I. Hardware and software of half-sized modeling bench for land testing synthetic aperture space radars. - Radiotekhnika. 2013, No. 1. – pp. 53-57.
4. Chekushkin V.V. Built-in computer-controlled electronic systems. - Pribory i sistemy upravleniya. 1999, No. 7. – pp. 42-45.
5. Antufyev R. V., Bogatov D. D., Piskunov G.G., Chekushkin V. In the Training and modeling facility for air and traffic control systems. - Voprosy radioelektroniki, ser. «Radiolokatsionnaya tekhnika (RLT). 2010, publ.1. – pp. 193-201.
6. Antufyev R. V., Bobrov M.S., Piskunov G.G., Tsarkov M. A. RS Training and modelling facility. - Vestnik vozdušno-kosmicheskoy oborony. 2014, No. 3. – pp. 5-8.
7. Antufyev R. V., Bobrov M.S., Piskunov G.G., Chekushkin V. V., Pantelev I.V., Tsarkov M. A. Patent of Russian Federation for invention No. 2489753. "Radar data simulation: method and apparatus Izobreteniya. Poleznye modeli. 2013, Bul. No. 22.
8. Averyanov A.M., Bobrov M. S. Chekushkin V. V. Simulation of object motion paths for air control radar systems. - Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2009, No. 9. – pp. 70-78.
9. Averyanov A.M., Bobrov M. S. Chekushkin V. V. Patent of Russian Federation for invention No. 2419072 No. 14 " Simulation method of air targets motion path". - Izobreteniya. Poleznye modeli. 2011. Bul. No. 14.
10. Certificate state registration of computer program No. 2009611848 dt. 09.04.2009 "Program of smoothing air targets motion path for radar control systems (Trajectory)". Request No. 2009610537 dt.16.02.2009.
11. Yurin O. V., Chekushkin V. V., Dudarev V.A. Computer-controlled radar system. - Pribory i sistemy. Upravleniye. Kontrol. Diagnostika. 2004, No. 1. – pp. 18-21.