

УДК 621.396.96

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ И КАРТОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ



**В.С. Вашкевич**  
Студент Факультета  
Информационных технологий  
и управления БГУИР  
lera.vashkev18@gmail.com



**Л.Ф. Васковская**  
ОАО «АГАТ-системы  
управления» -  
управляющая компания  
холдинга  
«Геоинформационные  
системы управления»,  
ведущий системный  
аналитик  
lidavask@yandex.by



**А.В. Гордиевич**  
ОАО «АГАТ-системы  
управления» - управляющая  
компания холдинга  
«Геоинформационные  
системы управления»,  
инженер-программист  
alinagordievich78@gmail.com

### **В.С. Вашкевич**

Студентка 4 курса дневной формы обучения Белорусского Государственного Университета Информатики и Радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированных систем сбора данных и идентификации объектов.

### **Л.Ф. Васковская**

Окончила Минский радиотехнический институт. Область научных интересов связана с разработкой автоматизированных систем сбора и обработки информации о воздушной, наземной и надводной обстановках.

### **А.В. Гордиевич**

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов автоматизированной обработки информации для определения параметров случайных процессов.

**Аннотация.** Выполнена разработка алгоритма обработки радиолокационных данных об объектах воздушной, наземной и надводной обстановке и их объединения с картографической информацией для принятия решения об отнесении объектов к следующим классам: воздушный объект или наземный (надводный).

Рассмотрено применение статистических методов для анализа радиолокационных параметров местоположения и перемещения объектов, предложен алгоритм расчета интегральной оценки признаков для определения класса объекта по радиолокационной информации, разработан метод объединения интегральной оценки с картографическими данными для повышения уровня достоверности идентификации.

**Ключевые слова:** радиолокационные данные, картографические объекты, объекты инфраструктуры, интегральный рейтинг, тренд, среднеквадратические ошибки.

### **Введение.**

При радиолокационном наблюдении за воздушным пространством имеется проблема выделения таких объектов как обнаруживаемые наземные и (или) надводные цели [1]. К ним относятся, например, автомобильные средства, речные и морские суда, Эти цели должны быть идентифицированы и отделены от воздушных целей. В ходе выполненной работы предложен метод разделения наземных (надводных) и воздушных целей на основе анализа получаемых радиолокационных данных и картографических сведений о местности в части природного ландшафта, инфраструктуры, логистики. В основу метода положена

статистическая оценка параметров местоположения и движения обнаруживаемых радиолокационно объектов в процессе получения данных и принятие решения на основе интегрального рейтинга, рассчитываемого по совокупности оценок параметров и учета картографических сведений.

#### **Актуальность.**

В настоящее время отделение наземных (наводных) объектов от воздушных при наблюдении за окружающей обстановкой маловысотными РЛС является актуальной задачей в связи с расширением области применения радиолокационных средств, различных видов наземного и надводного транспорта, увеличением интенсивности и расширения разнообразия всех видов транспорта. Эти факторы требуют применения необходимых средства для различения каждого вида транспорта, специфического контроля за каждым из них, управления, обеспечения безопасности движения и принятия при необходимости адекватных мер воздействия.

Решение этих задач требует разработки автоматизированной системы [2], способной с помощью аппаратных и программных средств принимать решение на основе восприятия и анализа окружающей обстановки. Такая система должна обрабатывать информацию об обстановке от совокупности датчиков в реальном времени и своевременно представлять ее пользователю в соответствии с областью выполняемых им функций.

#### **Описание алгоритма идентификации по радиолокационным данным о координатах и скорости объекта.**

Для принятия решения о принадлежности объекта типу «воздушный» или «наземный (надводный)» по радиолокационным данным разработан алгоритм обработки параметров, состоящий из следующих действий.

1. Осуществляется сбор отметок от РЛС по каждой трассе наблюдаемого объекта за ряд обзоров. Набор отметок по отдельной трассе, собранный за ряд последовательных обзоров, представляет собой скользящее окно с фиксированным количеством отметок  $k$ . Это означает, что при каждом получении новой отметки трассы она заносится в окно, а самая старая по времени отметка удаляется из окна. Информация по каждой отметке трассы включает номер трассы, координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  и время их измерения. При приходе каждой отметки для расчетов используются отметки трассы на интервале получения отметок от  $i = n - k$  до  $i = n$ , где  $n$  – номер последней пришедшей отметки,  $k$  – размер скользящего окна.

2. Выполняются следующие операции по отметкам трассы, находящимся в скользящем окне:

– строится линия тренда трассы по высотам  $H_i$  отметок трассы, полученным в моменты времени  $i$ . Тренд рассчитывается в системе координат  $H0t$ : где  $H$  – вертикальная ось измерения высоты,  $t$  – горизонтальная ось измерения текущего времени,  $0$  – начало отсчета  $H$  и  $t$ . Эта линия позволяет определить сглаженное значение высоты  $H_m(i)$  объекта на момент получения последней текущей отметки по значениям высот отметок трассы в скользящем окне. Величина  $H_m(i)$  также называется скользящим средним.

Для определения  $H_m(i)$  в качестве линии тренда выбрана линия первого порядка, которая определяется по уравнению:

$$H_m(i) = at_i + b, \quad (1)$$

где  $a$  – тангенс угла наклона линии тренда по отношению к оси  $t_0$ ,

$b$  – координата точки пересечения линии тренда с осью  $H_0$ ;

$t_i$  – время получения отметки.

Для расчета коэффициентов  $a$  и  $b$  использован метод наименьших квадратов [3], который реализуется с помощью системы уравнений (2):

$$\begin{cases} a \sum_{i=n-k}^n (t_i) + b \cdot k = \sum_{i=n-k}^n (H_i) \\ a \sum_{i=n-k}^n (t_i^2) + b \sum_{i=n-k}^n (t_i) = \sum_{i=n-k}^n (H_i \cdot t_i) \end{cases} \quad (2)$$

где  $H_i$  – высоты отметок трассы.

Рассчитанное значение  $H_m(i)$  сравнивается с порогом  $H_{m(\text{пороговое})}$ , по результатам чего формируется бинарное значение коэффициента  $K_H$ :

- если  $H_m(i) \leq H_{m(\text{пороговое})}$ , то  $K_H = 1$ ,
- если  $H_m(i) > H_{m(\text{пороговое})}$ , то  $K_H = 0$ .

Значение  $K_H$  учитывается в расчете интегральной оценки;

– рассчитывается среднеквадратическая ошибка  $\sigma_h$  определения высоты по линии тренда с использованием отметок в скользящем окне на момент времени  $t$  получения последней  $i = n$  отметки по формуле:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-k}^n (H_i - H_m(i))^2}{k}} \quad , \quad (3)$$

где  $k$  – количество отметок трассы в скользящем окне.

Рассчитанное значение  $\sigma_h$  сравнивается с порогом  $\sigma_{h(\text{пороговое})}$ , по результатам чего формируется бинарное значение коэффициента  $K_{\sigma_h}$ :

- если  $\sigma_h \leq \sigma_{h(\text{пороговое})}$ , то  $K_{\sigma_h} = 1$ ,
- если  $\sigma_h > \sigma_{h(\text{пороговое})}$ , то  $K_{\sigma_h} = 0$ .

Значение  $K_{\sigma_h}$  учитывается в расчете интегральной оценки;

– по линии тренда, рассчитанной по данным скользящего окна, определяется наличие или отсутствие набора или снижения высоты объекта на текущий момент  $t$  времени. Для этого на момент времени  $t$  вычисляется угол наклона  $\gamma$  линии тренда к оси  $t_0$  (в направлении оси от более раннего значения времени к более позднему) в системе координат  $H(t)$  по формуле

$$\pm\gamma = \arctg(a), \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент, который определяется при решении системы уравнений (2).

Положительное значение угла наклона ( $+\gamma$ ) соответствует набору высоты объектом, как показано на рисунке 1 в системе координат  $H(t)$ . Отрицательное значение угла наклона ( $-\gamma$ ) соответствует снижению высоты объекта, как показано на рисунке 2 также в системе координат  $H(t)$ .

Вычисленное значение угла наклона  $\pm\gamma$  сравнивается с порогами ( $+\gamma_{(\text{пороговое})}$ ) и ( $-\gamma_{(\text{пороговое})}$ ), по результатом чего формируется бинарное значение коэффициента  $K_\gamma$ :

- если  $(-\gamma_{(\text{пороговое})}) \leq (\pm\gamma) < (+\gamma_{(\text{пороговое})})$ , то  $K_\gamma = 1$ ,
- если  $(-\gamma_{(\text{пороговое})}) > (\pm\gamma) \geq (+\gamma_{(\text{пороговое})})$ , то  $K_\gamma = 0$ .

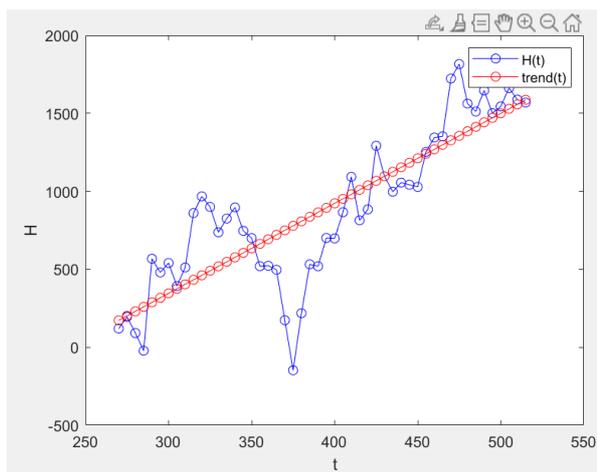


Рисунок 1. Линия тренда высоты  $H(t)$  для объекта, набирающего высоту

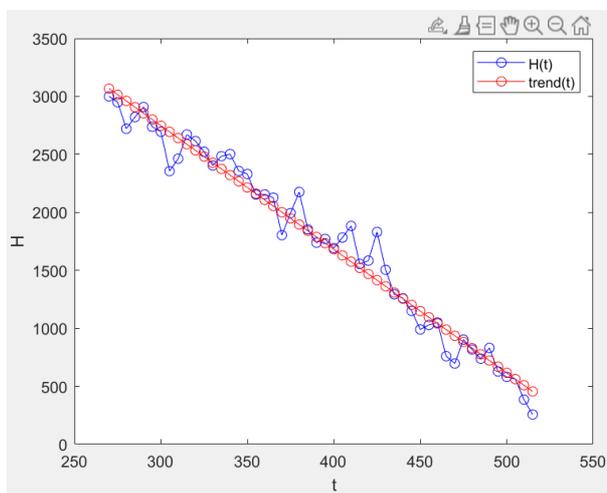


Рисунок 2. Линия тренда высоты  $H(t)$  для объекта, снижающего высоту

Значение  $K_\gamma$  учитывается в расчете интегральной оценки;

– рассчитывается среднеквадратическая ошибка  $\sigma_\gamma$  расчета угла наклона линии тренда по формуле:

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-p}^n (\gamma_i - \gamma_m)^2}{p}}, \quad (5)$$

где  $\gamma_m$  – математического ожидание (среднее значение) угла наклона линии тренда высоты на участке трассы, представленном отметками в скользящем окне, рассчитывается по формуле:

$$\gamma_m = \frac{\sum_{i=n-p}^n \gamma_i}{p}, \quad (6)$$

где  $p$  – количество углов наклона тренда, учитываемых при расчете, учет которых начат от момента наличия по трассе не менее 4 отметок:  $p = k - 3$ .

Рассчитанное значение среднеквадратической ошибки  $\sigma_\gamma$  сравнивается с порогом  $\sigma_{\gamma(\text{пороговое})}$ , по результатам чего формируется бинарное значение коэффициента  $K\sigma_\gamma$ :

- если  $\sigma_\gamma \leq \sigma_{\gamma(\text{пороговое})}$ , то  $K\sigma_\gamma = 1$ ,
- если  $\sigma_\gamma > \sigma_{\gamma(\text{пороговое})}$ , то  $K\sigma_\gamma = 0$ .

Значение  $K\sigma_\gamma$  учитывается в расчете интегральной оценки;

– по координатам отметок трассы, накопленным в скользящем окне, рассчитывается средняя скорость  $V_m(i)$  (модуль скорости) движения объекта на момент получения последней  $i = n$  отметки в момент времени  $t$ . Расчет  $V_m(i)$  производится по составляющим скорости  $V_x(i)$ ,  $V_y(i)$  и модулям  $V(i)$  скорости каждой отметки с учетом всех отметок скользящего окна. Каждое значение  $V_x(i)$ ,  $V_y(i)$  рассчитывается по полученным от РЛС координатам  $XU$  соседних отметок трассы. Для расчета среднего значения  $V_m(i)$  используются следующие формулы:

$$V(i) = \sqrt{V_{x(i)}^2 + V_{y(i)}^2}, \quad (7)$$

$$V_x(i) = \frac{x_i - x_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \quad (8)$$

$$V_y(i) = \frac{y_i - y_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \quad (9)$$

$$V_m(i) = \frac{\sum_{j=n-l}^l V_j}{l}. \quad (10)$$

Рассчитанное значение  $V_m(i)$  сравнивается с порогом  $V_{m(\text{пороговое})}$ , по результатам чего формируется бинарное значение коэффициента  $K_v$ :

- если  $V_m(i) \leq V_{m(\text{пороговое})}$ , то  $K_v = 1$ ,
- если  $V_m(i) > V_{m(\text{пороговое})}$ , то  $K_v = 0$ .

Значение  $K_v$  учитывается в расчете интегральной оценки.

3. На основе полученных в пункте 2 значений коэффициентов  $K_H$ ,  $K\sigma_h$ ,  $K_\gamma$ ,  $K\sigma_\gamma$ ,  $K_v$  формируется **показатель идентификации  $S_t$  на момент времени  $t$** . Расчет показателя идентификации  $S_t$  производится по формуле (11):

$$S_t = K_H \cdot w_1 + K\sigma_h \cdot w_2 + K_\gamma \cdot w_3 + K\sigma_\gamma \cdot w_4 + K_v \cdot w_5, \quad (11)$$

где  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  – веса, присвоенные каждому коэффициенту  $K_H, K\sigma_h, K_\gamma, K\sigma_\gamma, K_v$ .

Весовые коэффициенты являются нормированными таким образом, что:

$$\sum_{i=1}^5 w_i = 1. \quad (12)$$

Значения весовых коэффициентов являются настраиваемыми величинами и их конкретные значения определяются в процессе моделирования.

4. Далее производятся вышеописанные расчеты значений показателей идентификации  $S$  для одного и того же объекта в нескольких обзорах РЛС. Таким образом, чтобы, например, к моменту времени  $t$  имелись значения показателей идентификации  $S_t, S_{t-1}, S_{t-2}, \dots, S_{t-p}$  за  $p$  предыдущих обзоров РЛС. По этим данным определяется интегральный показатель идентификации  $S$  по формуле:

$$S = S_t + S_{t-1} + S_{t-2} + \dots + S_{t-p}. \quad (13)$$

Полученное вычисленное значение интегрального показателя  $S$  сравнивается с порогом  $S_{(пороговое)}$  для определения бинарного значения  $U_t$ :

- если  $S \geq S_{(пороговое)}$ , то принимается решение  $U_t = 1$ ,
- если  $S < S_{(пороговое)}$ , то принимается решение  $U_t = 0$ .

В последующих  $m$  ( $m \geq 3$ ) обзорах производятся расчеты величин  $S$ , их сравнение с порогом  $S_{(пороговое)}$ , формирование бинарных значений  $U_{t+1}, \dots, U_{t+m}$ .

Решение об отнесении объекта к определенному классу – воздушный или наземный (надводный) производим по критерию « $k$  из  $m$ », где  $k$  – количество обзоров, в которых для интегрального показателя идентификации  $S$  выполнялись условия  $U_t = 1, U_{t+1} = 1, \dots, U_{t+m} = 1$ , (при этом всегда должно быть установлен критерий  $k \leq m$ ).

При выполнении критерия объект будет отнесен к классу «наземный (надводный)». При невыполнении критерия объект будет отнесен к классу «воздушный».

Если на момент времени проверки критерия « $k$  из  $m$ » для объекта выполняется условие:

$$\sigma_h > 2 \sigma_{h(пороговое)},$$

где  $\sigma_h$  определяется по формуле (3), то независимо от состояния выполнения (невыполнения) критерия « $k$  из  $m$ » для интегрального показателя идентификации принимается решение, что класс объекта не определен.

#### **Описание алгоритма идентификации по картографическим данным.**

В ряде случаев в зависимости от совокупности комплекса воздействующих внешних условий отделить воздушные объекты от наземных (надводных) по радиолокационным данным с требуемой степенью достоверности не удастся.

Для решения задачи в таких ситуациях положительный вклад может внести знание обстановки, которое предоставляет карта позиционно района, в котором работает РЛС.

Для использования карты как дополнительного источника информации об имеющихся над (на) территорией объектов для распознавания на карте позиционного района необходимо выделить объекты, представляющие интерес для разделения воздушных и наземных (надводных) объектов. Наличие этих картографических объектов поможет уточнить отнесение идентифицированных по радиолокационным данным объектов к обозначенным классам.

Алгоритм идентификации с учетом картографическим данным состоит в объединении результатов идентификации, полученных по радиолокационным данным, с картографической информацией о специальных картографических объектах.

Интерес для уточнения класса объекта представляют следующие картографические объекты:

- объекты инфраструктуры (площадные и линейные). К ним относятся автомобильные дороги, судоходные водоемы, строения, железнодорожные пути, аэропорты и аэродромы и т.п.;
- взлетно-посадочные полосы аэродромов;
- коридоры пролетов в воздушном пространстве государства;
- зоны, разрешенные и запрещенные для полетов авиации;
- рельеф местности.

В процессе использования картографической информации для ее объединения с информацией о распознанных по радиолокационной информации объектах осуществляются следующие этапы:

1. Считывание с карты координат местоположения картографических объектов – линейных площадных, которые указаны выше, на обозначенной территории.

2. Построение вокруг линейных и площадных объектов расширенных областей для последующего определения нахождения распознаваемых по радиолокации объектов в этих областях.

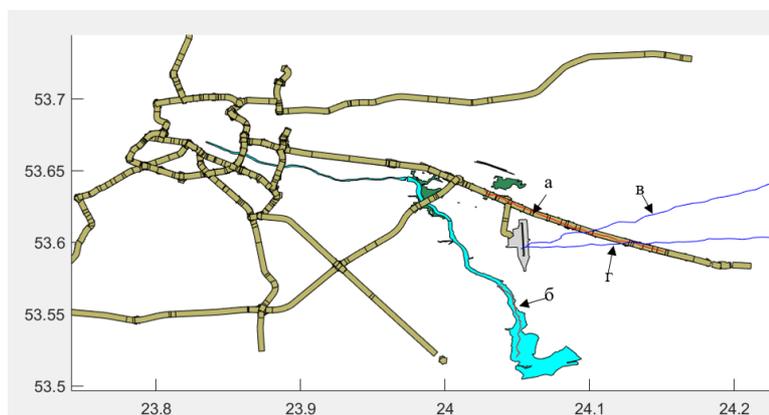
3. Для каждого распознанного по локационным данным объекта проверяется его нахождение во введенных ограничительных областях имеющих картографических объектов. Определяется его нахождение в ограничительных пределах, отведенных раздельно для наземных, надводных или воздушных объектов. Так, например, по взлетно-посадочной полосе преимущественно могут перемещаться воздушные объекты, над водными поверхностями - более вероятно перемещение надводных объектов, вдоль автомобильных дорог – в основном наземный автомобильный транспорт.

По результатам проверки определяется в область какого картографического объекта попадает исследуемый объект. Проверка производится несколько раз и конечный результат определяется по критерию « $k$  из  $m$ ».

Результат классификации, полученный по карте, объединяется с результатом классификации по интегральному радиолокационному показателю. Картографический анализ помогает более точно провести классификацию объектов. Особенно важна роль карты при решении спорных ситуаций об отнесении объекта к воздушному или наземному (надводному).

#### **Моделирование использования картографической информации при идентификации объектов.**

Для примера использована карта реального позиционного района в Беларуси.



а – наземный объект, б – надводный, в и г – воздушные объекты

Рисунок 3. Карта позиционного района

На карте изображены следующие объекты: река, автомобильные дороги, аэропорт.

С помощью имитатора для моделирования были заданы: два воздушных объекта, взлетающих из аэропорта (отмечены как **в** и **г** на рисунке 3) и имеющих среднюю скорость 200 км/час, наземный объект (отмечен как **а** на рисунке 3), движущийся по трассе со скоростью 180 км/час, надводный объект (отмечен как **б** на рисунке 3), движущийся вдоль русла реки со скоростью 100 км/час.

Картографические объекты были извлечены из открытого интернет-ресурса *OpenStreetMap* в векторном формате (*ESRI Shape File*) с использованием *QGIS Desktop* – свободной кроссплатформенной геоинформационной системы, предназначенной для редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации.

Дороги были представлены как линейные объекты, заданные в виде отрезков линий, аэродром и река - как площадные объекты.

На аэродроме была задана точка стояния РЛС, которая принята за начало (0) системы отсчета координат  $XU$ , в которой происходит наблюдение за трассами объектов. Необходимые пересчёты из географической системы координат в прямоугольную и обратно осуществлялись с использованием встроенных функций в *MATLAB*.

Признаками, используемыми на данном этапе идентификации, являются области, заданные последовательностью точек на карте с координатами широты и долготы. Решение задачи сводится к проверке на попадание идентифицируемого объекта в какую-либо из заданных областей на карте. Вокруг линии дороги были заданы прямоугольные области шириной 500 метров (с учетом ошибки в определении координат объекта). Вокруг площадных объектов также были заданы расширенные области для учета ошибок определения координат объектов.

Данные о попадании или непопадании объекта в каждый вид областей (дороги, аэродром, река) получаем для каждой пришедшей отметки: если пришедшая в момент времени  $T_i$  отметка с координатами  $X_i, Y_i, H_i$  попала в область дороги, то оценка картографических признаков  $i$ -той отметки по каждой из областей будет выглядеть, как показано в таблице 1.

Таблица 1. Оценка каждой отметки на попадание в область

Номер отметки	Признак		
	Дорога	Аэродром	Река
$i$	1	0	0

В итоге каждой пришедшей отметке может соответствовать только один объект карты.

Эти оценки объединяются вместе при наблюдении за трассой каждого объекта следующим образом. Каждому из признаков (областей) присваивается номер: дорога – 1, река – 2, аэродром – 3, и если не в одну из этих областей отметка не попала, признак принимает значение 0. Информация о попадании 5 отметок трассы воздушного объекта может выглядеть как указано в таблице 2.

Таблица 2. Вид получения картографической информации об объекте

Номер отметки	Номер области, в которую попала отметка
1	3
2	3
3	0
4	0
5	1

На следующем шаге результат, полученный по расчетным признакам (1 – наземный объект, 0 – воздушный, 10 – результат неопределен), сравнивается с картографической информацией. Картографическая информация может улучшать результат идентификации, полученный по радиолокационным данным, но не ухудшать его. Поэтому проверять на попадание в выделенные области будем объекты, принятые за наземные, и объекты, для которых класс не определен.

Пусть пришла отметка объекта, результат идентификации которой равен 1 (наземный или надводный объект). Проверяем, в какую область попала отметка: если попала в 1 или 2 (дорога или река) – результат идентификации подтверждается и равен 1 (наземный или надводный объект). Если отметка попала в области 3 и 0 (аэродром и территория вне

заданных областей), проверяем 5 последних отметок на попадание по критерию « $k$  из  $m$ », где  $k \geq 3$ , а  $m = 5$ , то есть для подтверждения, что объект наземный, необходимо чтобы как минимум 3 из 5 последних отметок объекта попали в область дороги или реки.

#### **Заключение.**

В статье рассмотрена возможность создания автоматизированной системы идентификации объектов совместно по радиолокационным и картографическим данным. Система предназначена для определения таких классов объектов как воздушные, наземные и (или) надводные. Источником радиолокационных данных является РЛС, осуществляющая обнаружение и сопровождение трасс всех наблюдаемых объектов. В составе картографических данных использованы сведения о координатах местонахождения объектов, которые предназначены для преимущественного использования специализированными видами транспорта, такими как авиация, автомобильный транспорт, надводные суда. Для распознавания применены также характеристики природного ландшафта местности. В основу классификации по радиолокационным данным положено определение интегрального показателя, использующего такие параметры объектов как высота и скорость, которые накапливаются по радиолокационным трассовым отметкам в скользящем окне. Объединение интегрального показателя с картографической информацией обеспечило повышение достоверности распознавания. Для подтверждения эффективности разработанного алгоритма идентификации выполнено моделирование в среде MATLAB.

Полученные результаты предоставляют возможность для выполнения автоматизированной идентификации объектов в объеме указанных классов.

#### **Список литературы**

- [1] INTRODUCTION TO RADAR SYSTEMS International edition 2001 third edition / Merrill I. Skolnik / McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION / Electrical Engineering Series, 2001
- [2] Фор, А. Восприятие и распознавание образов / Пер. с фр. А. В. Серединского; под ред. Г. П. Каатыса. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.
- [3] Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Издание третье, переработанное / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 1953. – 608 с.

## **AUTOMATED OBJECTS IDENTIFICATION USING RADAR AND MAP DATA**

***V. S. Vashkevich***

*BSUIR, Faculty of Information  
Technology and Control student*

***L. F. Vaskovskaya***

*Open joint-stock company  
«AGAT – Control Systems –  
Managing Company of  
Geoinformation Control  
Systems Holding», leading  
system analyst*

***A. V. Gordievich***

*Open joint-stock company  
«AGAT – Control Systems –  
Managing Company of  
Geoinformation Control  
Systems Holding», engineer-  
programmer*

*Belarusian State University of computer science and Radio Electronics, Republic of Belarus  
E-mail: lera.vashkev18@gmail.com*

**Abstract.** The algorithm of aerial and ground (overwater) objects' radar data processing and joining it with map data for making a decision to relate the object to the one of the defined classes: ground (overwater) object and aerial object.

Statistics methods in object's coordinate and movement data analysis are shown, class determination algorithm for attributes integral estimation, using radar data is proposed, method of integral estimation and map data combination is developed for increasing the level of the identification accuracy.

**Keywords:** radar data, map objects, infrastructure objects, integral rating, trend, mean square errors.