

Министерство образования и науки РФ

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

ВЕСТНИК

**НИЖЕГОРОДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО**

№ 4

Часть 2

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета
2011

ББК С
УДК 5+3
В 38

В 38 **Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского.** № 4 Часть 2. – Н. Новгород:
Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. – 594 с.

Выходит 6 раз в год

Главный редактор
Р.Г. Стронгин

Редакционная коллегия:

Е.В. Чупрунов (*зам. главного редактора*), С.Н. Гурбатов (*зам. главного редактора*),
Е.В. Сулейманов (*отв. секретарь*), В.Г. Баженов, Б.И. Бедный, В.А. Блонин, А.П. Веселов,
С.В. Гапонов, В.П. Гергель, О.Н. Горшков, А.О. Грудзинский, А.В. Гуцин, Д.Ф. Гришин,
Г.А. Домрачев, О.А. Колобов, А.Г. Литвак, А.К. Любимов, Е.А. Молев, А.В. Петров,
Л.И. Ручина, Ю.В. Трифионов, М.Ф. Чурбанов, В.И. Швецов, А.В. Якимов

ББК С

Электронная версия журнала:
http://www.unn.ru/?file=vestniki_journals

© Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, 2011

Ministry of Education and Science of the Russian Federation

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

VESTNIK
OF
LOBACHEVSKY STATE UNIVERSITY
OF NIZHNI NOVGOROD

№ 4

Part 2

Nizhni Novgorod
Nizhni Novgorod University Press
2011

Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. No. 4. Part 2. – Nizhni Novgorod: Nizhni Novgorod University Press, 2011. – 594 pp.

The journal appears six times a year

Editor-in-Chief

R.G. Strongin

Editorial board:

E.V. Chuprunov (*Deputy Editor-in-Chief*), S.N. Gurbatov (*Deputy Editor-in-Chief*),
E.V. Suleymanov (*Executive Secretary*), V.G. Bazhenov, B.I. Bednyi, V.A. Blonin, A.P. Veselov,
S.V. Gaponov, V.P. Gergel, O.N. Gorshkov, A.O. Groudzinski, A.V. Gushchin, D.F. Grishin,
G.A. Domrachev, O.A. Kolobov, A.G. Litvak, A.K. Lyubimov, E.A. Molev, A.V. Petrov,
L.I. Ruchina, Yu.V. Trifonov, M.F. Churbanov, V.I. Shvetsov, A.V. Yakimov

Electronic version of the journal can be found at:

http://www.unn.ru/?file=vestniki_journals

Российский Национальный комитет по теоретической и прикладной механике
совместно: с Институтом механики МГУ им. М.В. Ломоносова,
Институтом проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
Нижегородским государственным университетом им. Н.И. Лобачевского,
при участии: Российского федерального ядерного центра – ВНИИ экспериментальной физики,
Нижегородского научного центра РАН,
ОКБ машиностроения им. И.И. Африкантова,
Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева
провели 24–30 августа 2011 года в г. Нижнем Новгороде

X ВСЕРОССИЙСКИЙ СЪЕЗД ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ПРОБЛЕМАМ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ.

В рамках съезда проведены Вторая Всероссийская школа молодых ученых-механиков и собрание
Российского Национального комитета по теоретической и прикладной механике.

На основании материалов съезда подготовлены научные статьи настоящего выпуска Вестника.

ОРГКОМИТЕТ СЪЕЗДА

Г.Г. Черный – *председатель*, Л.А. Игумнов, В.А. Полянский – *заместители председателя*;
С.Ю. Литвинчук, И.Л. Панкратьева – *ученые секретари*

Члены бюро оргкомитета

В.А. Бабешко, И.Г. Горячева, С.М. Дмитриев, В.Ф. Журавлев, Д.Л. Зверев, Д.М. Климов,
В.В. Козлов, В.Е. Костюков, А.Г. Куликовский, В.А. Левин, И.И. Липатов, А.Г. Литвак,
Е.В. Ломакин, Г.А. Любимов, В.П. Матвеев, Г.К. Михайлов, Н.Ф. Морозов, Ю.С. Осипов,
С.Я. Степанов, В.М. Фомин, В.Е. Фортов, Ф.Л. Черноусько, Е.В. Чупрунов

Члены оргкомитета

Л.Д. Акуленко, И.М. Ананьевский, Б.Д. Аннин, В.А. Антонец, Н.А. Анфимов, В.Г. Баженов,
Д.В. Баландин, Н.В. Баничук, О.М. Белоцерковский, А.Н. Богданов, В.Н. Болотник, А.М. Брагов,
В.Н. Бранец, А.А. Буренин, Р.А. Васин, А.Б. Ватажин, В.М. Волков, Р.Ф. Ганиев, Р.В. Гольдштейн,
А.Н. Голубятников, Н.В. Дерендяев, В.И. Ерофеев, Д.А. Индейцев, В.В. Калинин, С.А. Капустин,
А.В. Карапетян, Ю.С. Качанов, В.Н. Комаров, К.Г. Корнев, Ю.Г. Коротких, В.Л. Котов, А.В. Кочетков,
А.Н. Крайко, Н.Н. Красовский, В.Н. Кукуджанов, А.М. Липанов, А.К. Ломунов, А.К. Любимов,
А.В. Манжиров, А.П. Маркеев, Ю.Г. Мартыненко, Н.А. Махутов, О.Э. Мельник, Е.Е. Мешков,
А.Л. Михайлов, А.А. Мовчан, В.Я. Нейланд, Р.И. Нигматулин, Н.В. Никитин, В.В. Новиков,
Л.В. Овсянников, А.Н. Осипцов, В.Е. Панин, В.М. Пашин, В.Н. Перевезенцев, А.Г. Петров,
Ю.В. Петров, С.Г. Псахье, В.В. Пухначев, А.К. Ребров, С.А. Решмин, Ю.А. Рыжов, В.В. Сидоренко,
Л.В. Смирнов, А.Н. Супрун, Д.В. Тарлаковский, В.М. Титов, А.К. Цатурян, В.Н. Чувильдеев,

УДК 681.5.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК НЕСКОЛЬКИХ РЛС ПО АЗИМУТУ

© 2011 г. А.Г. Иванов¹, Д.А. Бедин¹, А.В. Беляков², К.В. Строков², А.А. Федотов¹

¹Институт математики и механики УрО РАН, Екатеринбург

²Фирма «НИТА», Санкт-Петербург

iagsoft@imm.uran.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Решается задача идентификации систематических ошибок нескольких радиолокаторов кругового обзора по азимуту. Предполагается, что каждый радиолокатор измеряет в своей локальной системе координат наклонную дальность и азимут с некоторым тактом по времени. Интервалы наблюдения у разных радиолокаторов могут быть различны. Разработаны два алгоритма идентификации. Первый использует метод Хука – Дживса конечномерной оптимизации, второй – фильтрацию Калмана. Приводятся результаты моделирования.

Ключевые слова: РЛС, идентификация параметров, обратная задача, восстановление траектории движения, методы оптимизации, фильтр Калмана.

1. Рассматривается задача нахождения систематических ошибок нескольких радиолокаторов (РЛС) по азимуту при наблюдении за движением воздушного судна (ВС) на некотором промежутке времени. Положения РЛС точно заданы географическими координатами. Предполагаемое количество радиолокаторов – не менее двух.

Относительно наблюдаемого ВС оговорены минимальное и максимальное значения высоты. Предполагаются также известными ограничения на величину вертикальной скорости.

Исходные данные по каждой РЛС представляют собой наборы замеров наклонной дальности, азимута и, в некоторых случаях, высоты на рассматриваемом промежутке времени в прямоугольной системе координат, связанной с касательной плоскостью к Земле в точке географического положения РЛС.

Систематические ошибки РЛС по азимуту приводят к пространственному смещению замеров. Если одно и то же движение ВС наблюдается с нескольких точек, то появляется возможность определения систематических ошибок по азимуту. При вычислении азимутальных ошибок дополнительно схематично восстанавливается траектория движения.

Разработаны два алгоритма идентификации.

2. Первый алгоритм минимизирует квадратичную невязку между подбираемой траекторией и замерами РЛС, повернутыми на угол, вычисляемый индивидуально для каждой РЛС. В расчетах учитывается сферичность Земли. Используется программа конечномерной оптимизации.

Варьируемые переменные: углы доворота РЛС по азимуту и координаты вершин ломаной (восстанавливаемой траектории) в трехмерном пространстве. Вычислительная программа использует метод Хука – Дживса конечномерной оптимизации – метод прямого поиска, не требующий вычисления производных минимизируемой функции. Метод характеризуется хорошей сходимостью на задачах с большой размерностью аргумента минимизируемой функции.

Каждый РЛС-замер по имеющейся информации однозначно определяет (плоскую) окружность в трехмерном пространстве. В качестве невязки между РЛС-замером и восстановленным треком берется квадрат минимального расстояния между окружностью и точкой восстановленного трека, соответствующей времени замера.

Восстановленный трек представляет собой ломаную линию в трехмерном пространстве геоцентрической декартовой системы координат.

3. Второй алгоритм использует дискретный фильтр Калмана. Наблюдаемый участок траектории ВС предполагается прямолинейным, движение по нему происходит с постоянной скоростью. Получаемое уравнение наблюдения не является линейным. Этот факт представляет значительную трудность, ибо стандартная процедура фильтрации Калмана предполагает наличие только линейной зависимости от состояния в уравнении наблюдения.

В результате работы алгоритма восстанавливаются начальное положение, вектор скорости ВС и систематические ошибки РЛС по азимуту.

Для того чтобы второй алгоритм определения систематических погрешностей РЛС по азимуту работал корректно, требуется в качестве исходных данных использовать замеры с участка прямолинейного равномерного движения. Одним из возможных вариантов является внешнее задание участка прямолинейного движения, когда каким-либо образом заранее известно, где самолет должен лететь по прямой линии. Другим вариантом является автоматическое отыскание участков прямолинейного движения с постоянной скоростью. Предложен алгоритм, реализующий такой автоматический поиск.

4. Разработанные алгоритмы протестированы на модельных и реальных данных.

На рис. 1 представлены модельные треки, получаемые при «наблюдении» ВС четырьмя РЛС. Эти треки в качестве входных данных обрабатывались при помощи первого алгоритма идентификации. На выходе программы идентификации получаем систематические ошибки по азимуту. Довернутые на систематические ошибки треки представлены на рис. 2. Видно, что они практически совпадают.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 09-01-00436 и 10-01-96006).

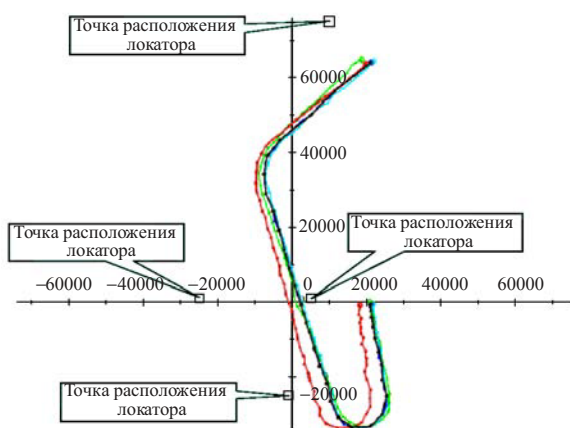


Рис. 1

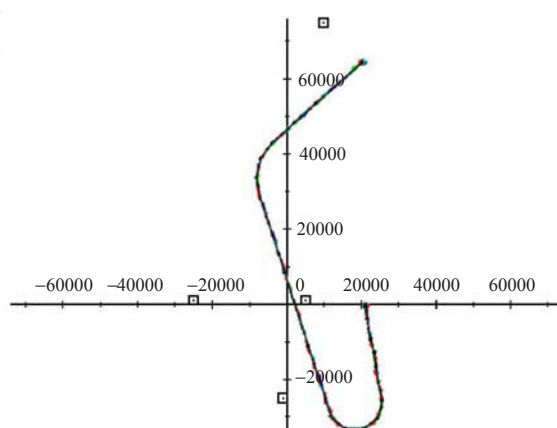


Рис. 2

IDENTIFICATION OF SYSTEMATIC ERRORS IN AZIMUTH FOR SEVERAL RADARS

A.G. Ivanov, D.A. Bedin, A.V. Belyakov, K.V. Strokov, A.A. Fedotov

The work deals with a problem of identification of systematic errors in azimuth for several all-round looking radars. It is assumed that each radar measures the slant range and azimuth in its own local coordinate system with some time step (observation). Observation steps in various radars can be different. Two algorithms for identification have been elaborated. The first algorithm uses the Hooke and Jeeves method for finite-dimensional optimization. The second one applies the Kalman filtration. Simulation results are presented.

Keywords: radar, identification of parameters, inverse problem, reconstruction of a motion trajectory, Kalman filtration.