

## Методы обработки навигационной информации в целях повышения точности

*Р.О. Морозов, Д.В. Девитт*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

**Аннотация:** В данной статье исследуются различные методы фильтрации данных навигационной системы. Рассмотрены фильтр скользящего среднего, медианный фильтры, а также фильтр Винера. Путем моделирования проведена оценка их эффективности в повышении точности.

**Ключевые слова:** навигация, позиционирование, фильтр данных, линейный фильтр, фильтр скользящего среднего, медианный фильтр, фильтр Винера, управление подвижными объектами, обработка навигационной информации, среднеквадратическое отклонение.

### Введение

Точность определения координат оказывает существенное влияние на качество системы управления подвижных объектов [1-6]. Для повышения точности определения координат возможно использовать фильтрацию данных. Существует два основных способа фильтрации данных [7,8]. Первый состоит в повышении чувствительности к измеряемой величине. Второй способ состоит в статистической обработке многократных измерений [7]. Однако при использовании первого способа, как правило, растёт чувствительность и к неинформативным параметрам, что требует принятия дополнительных мер по их компенсации, поэтому предпочтительнее использовать второй метод.

В данной работе ставится задача исследования методов фильтрации данных навигационной системы на базе Real time locating system (далее RTLS) в режиме позиционирования. При этом исследуются методы медианной фильтрации [7], фильтр скользящего среднего [8] и фильтр Винера [9]. Особенностью рассматриваемой задачи является необходимость осуществлять фильтрацию по малому числу отсчетов.

## Получение экспериментальных навигационных данных

Для сбора экспериментальных навигационных данных в работе использована система, имеющая в своем составе 9 приемников, пункт управления и одну радиометку, позиционирование которой осуществляется приемниками. Позиционирование метки (рис.1) осуществляется путем измерения расстояния от метки до нескольких (не менее трех) приемников – рабочих узлов инфраструктуры RTLS, имеющих известные фиксированные координаты. RTLS имеет программное обеспечение, позволяющее передавать положение метки, а также ее координаты на пункт управления.

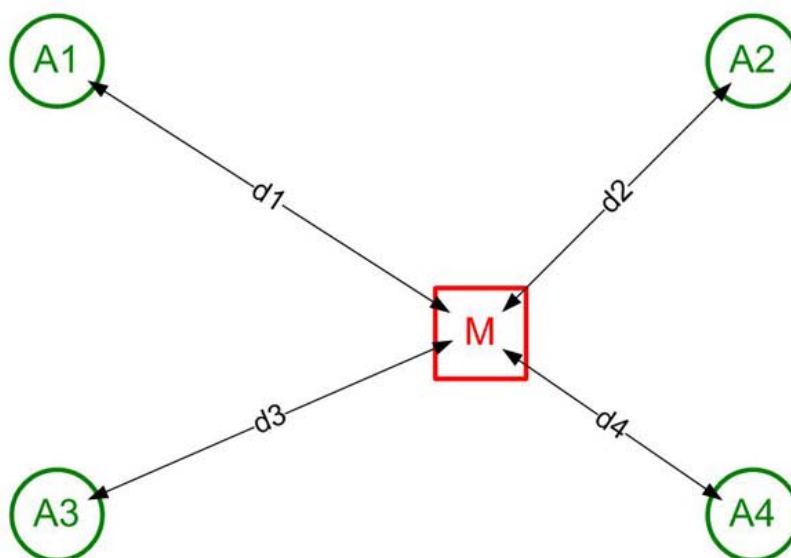


Рис. 1. – Расстояние от приемников A1-A4 до метки M

В системах RTLS для измерения расстояния от приемников до метки и позиционирования используются технологии CSS (Chirp Spread Spectrum) и SDS-TWR (Symmetrical Double-Sided Two Way Ranging), основанные на измерении времени распространения радиосигнала от передатчика до приемника (time of flight). Расположение приемников на полигоне отмечено красным кругом на рис. 2.

Метка взаимодействует с приемниками системы через двунаправленный радио интерфейс (то есть передает и принимает пакеты данных).



Рис. 2 – Расположение приемников на испытательном полигоне.

Метка периодически (1 раз в секунду) измеряет расстояния до указанных системой приемников и передает результаты замеров на сервер. Эта информация служит для идентификации метки и определения ее местоположения.

### Описание эксперимента

Для сбора экспериментальных данных произведены замеры в девяти точках на исследуемом полигоне. Расположение точек, в которых производились замеры, указано на рис. 3. Метка перемещается последовательно в каждую точку, где происходит считывание навигационной информации в течение одной минуты.

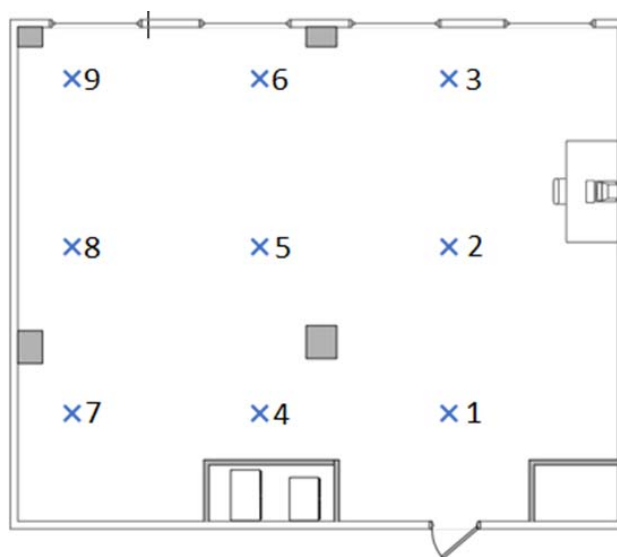


Рис. 3 – Расположение точек на испытательном полигоне

В результате считывания навигационной информации, вычисляется СКО. Полученные в ходе измерений данные представлены в табл. 1.

Таблица № 1

СКО в различных точках

Номер точки	СКО, м.
Точка 1	0,006986
Точка 2	0,003713
Точка 3	0,014417
Точка 4	0,079708
Точка 5	0,008515
Точка 6	0,003689
Точка 7	0,006555
Точка 8	0,017849
Точка 9	0,008850

Графически данные из табл. 1 представлены на рис. 4.

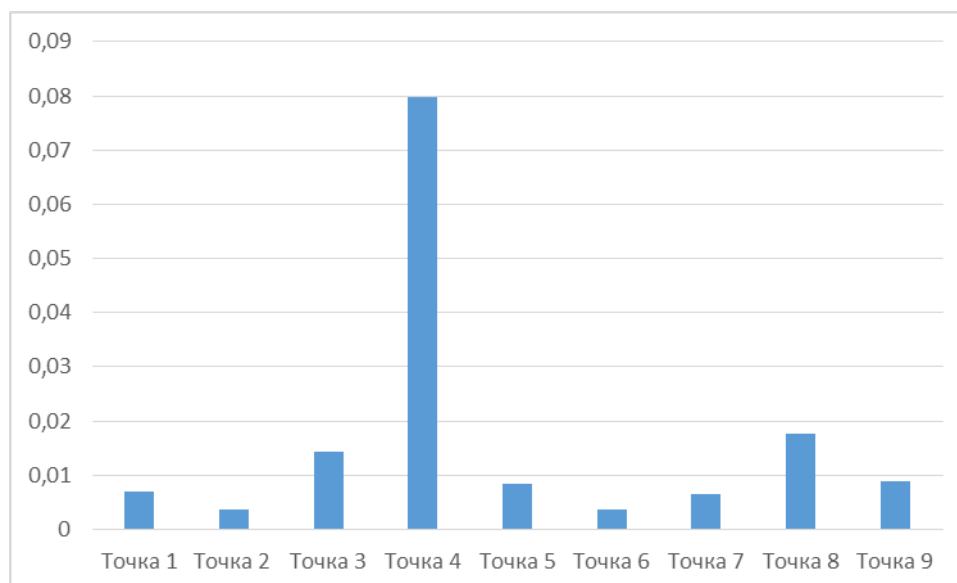


Рис. 4 – СКО в различных точках

Из рис. 4 следует, что наибольшее СКО наблюдается в точке 4, это связано с работой системы RTLS. На рис. 5 показаны данные показаний навигационной системы в точке 4.

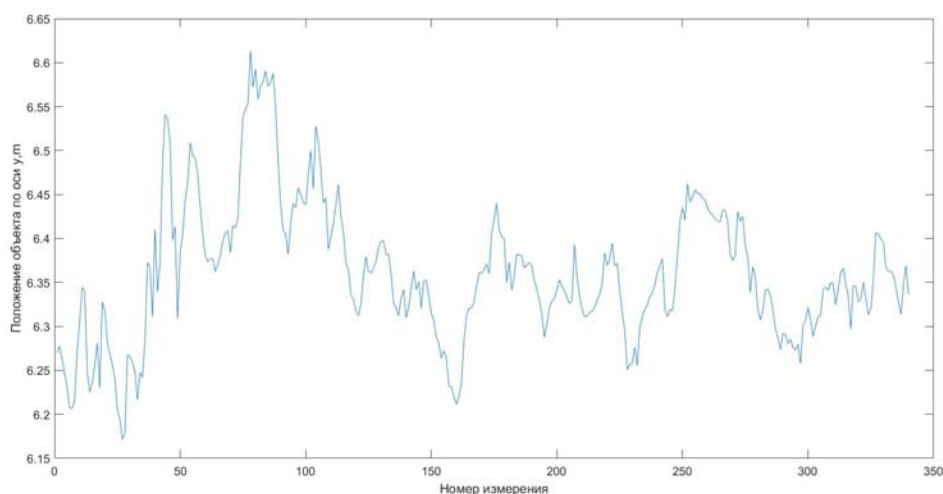


Рис. 5 – Измерения в точке 4.

Из рис. 4 и рис. 5 видно, что СКО измерения положения достигает 8 см, а абсолютные значения погрешности измерения могут достигать 25 см. Указанные погрешности являются существенными для рассматриваемого полигона, поэтому для повышения точности навигационной системы используются фильтры, эффективность которых обсуждается в данной статье.

## **Фильтрация экспериментальных данных**

В задачах обработки навигационной информации широко используются алгоритмы фильтрации [7], например, Винера [9], Калмана [10] и др. Эти алгоритмы позволяют решить задачу оценивания оптимально по какому-либо критерию и при различных постановках задачи. В оптимальной постановке задача фильтрации решается при известных характеристиках шумов и модели измеряемого процесса. При наличии неопределенностей применяются различные методы адаптации [7]. Также эффективным способом повышения эффективности фильтрации является комплексирование навигационных данных [2,10].

В данной статье исследована эффективность повышения точности медианного фильтра, фильтра скользящего среднего и фильтра Винера.

### **Медианный фильтр**

Медианный фильтр [7] осуществляет накопление отсчетов, их сортировку по возрастанию и выдачу на выход значения, находящегося в середине упорядоченного списка. В случае чётного числа отсчётов в окне, выходное значение фильтра равно среднему значению двух отсчётов в середине упорядоченного списка. Окно перемещается вдоль величины фильтруемого сигнала и вычисления повторяются. Результаты применений медианного фильтра, при числе отсчетов в окне  $N=20$ , представлены на рис. 6.

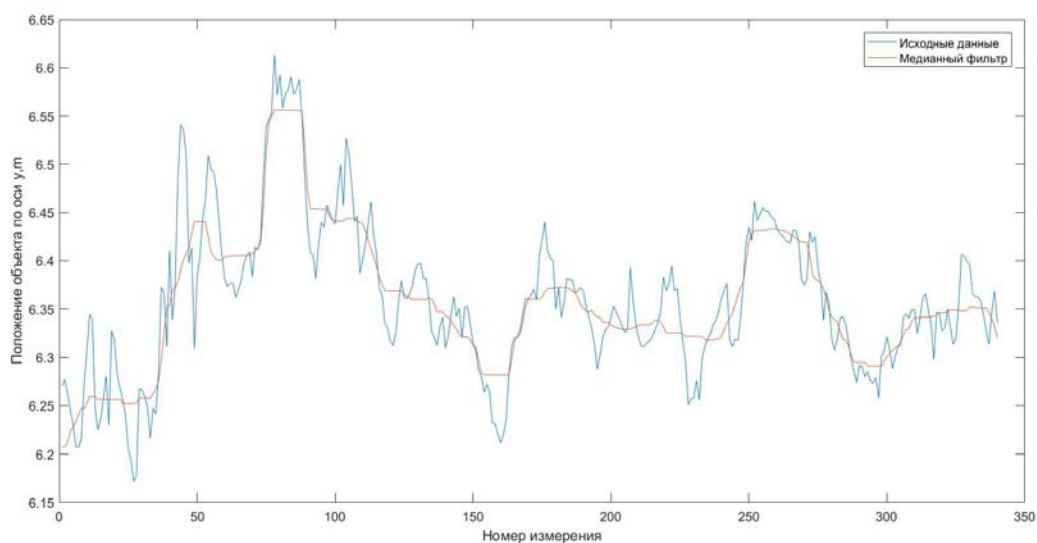


Рис. 6 – Применение медианного фильтра

### Фильтр «скользящего среднего»

Алгоритм работы фильтра заключается скользящего среднего в «усреднении» значений внутри выбранного окна. В данном случае, как и в примере с медианным фильтром, выбран размер окна  $N = 20$ . Ниже (Рис. 7) приведен пример работы такого фильтра, реализованный с помощью MATLAB.

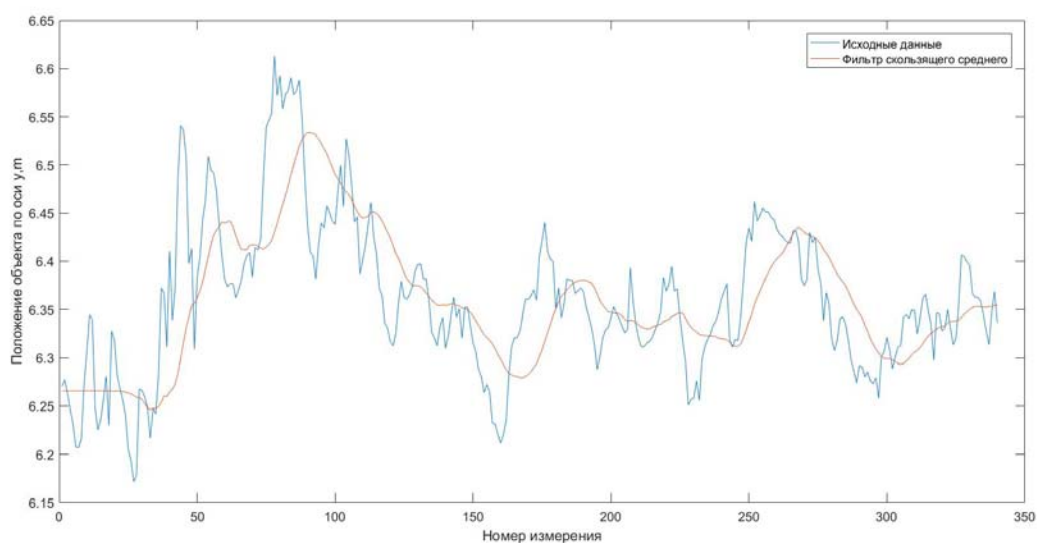


Рис. 7 – Применение фильтра скользящего среднего

У данного фильтра присутствует очевидный недостаток – запаздывание, которое равно  $10\Delta_t$ . Здесь  $\Delta_t$  дискретность съема данных.

### Фильтрация Винера

Фильтр Винера адаптируется к локальной дисперсии входного сигнала. Там, где дисперсия велика, фильтр выполняет небольшое сглаживание. Если дисперсия мала, фильтр выполняет большее сглаживание. Такой подход часто дает лучшие результаты, чем линейная фильтрация. Адаптивный фильтр более избирательный, чем сопоставимый линейный фильтр, который сохраняет высокочастотные части сигнала. Однако фильтр Винера требует большего времени вычисления, чем линейная фильтрация [8]. Алгоритм работы фильтра Винера представлен формулой (1):

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{\sigma^2 - v^2}{\sigma^2} (a(n_1, n_2) - \mu), \quad (1)$$

где  $v^2$  – дисперсия шума,  $\mu$  – среднее значение,  $\sigma$  – локальная дисперсия в окне.

В данном примере в качестве дисперсии шума используется локальная дисперсия исследуемого окна.

Применение фильтра, при числе отсчетов в окне  $N=20$ , представлены на рис. 8.



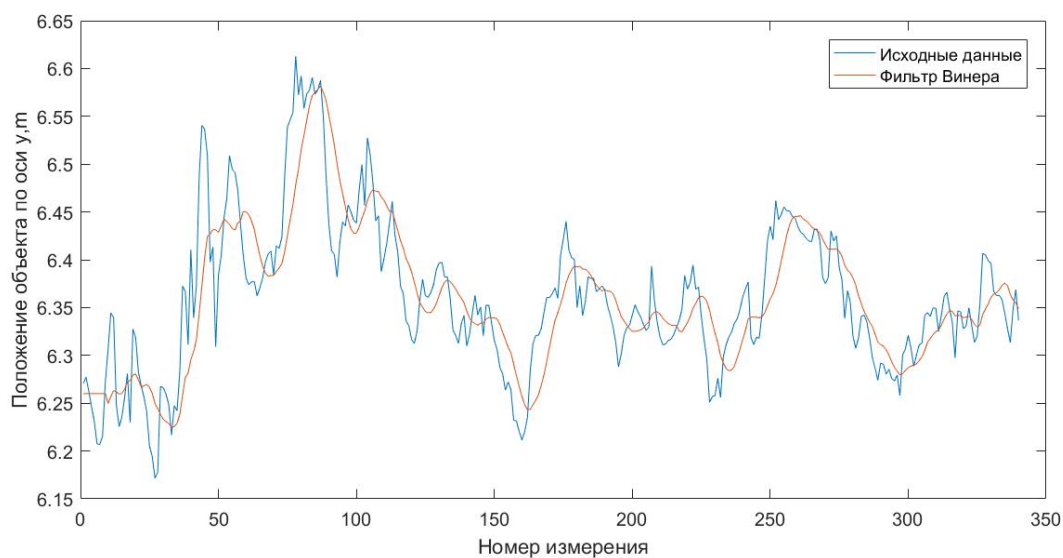


Рис. 8 – Применение фильтра Винера.

### Выводы

Результаты работы фильтров можно наблюдать в Таблице 2, а также на рис. 9. В таблице указаны значения СКО в результате применения различных фильтров и их сравнение с исходными данными.

Таблица № 2

СКО после применения фильтров, м

Исходные данные	Фильтр скользящего среднего	Медианный фильтр	Фильтр Винера
0.0797	0.0630	0.0691	0.7323

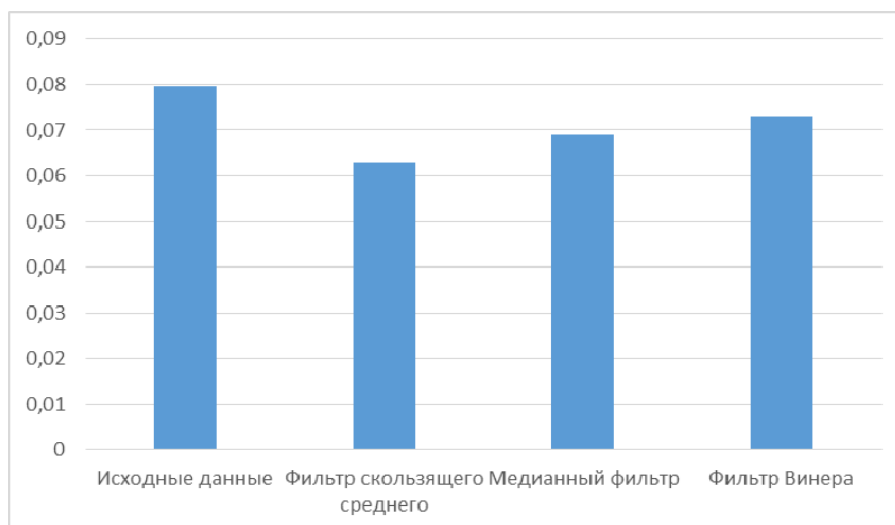


Рис. 9 – SKO в результате работы фильтров

Из приведённой выше таблицы видно, что наименьшее SKO достигается при применении фильтра скользящего среднего. По сравнению с исходным сигналом снижение SKO снизилось на 21,25 %.

Для дальнейшего повышения точности возможно использование двух подходов. Первый подход состоит в определении характеристик шумов в исследуемой системе и дальнейшей оптимизации параметров фильтров. В частности, при заданных характеристиках шумов и модели измеряемого процесса возможно применение фильтра Калмана-Бьюси[11].

Второй подход состоит в комплексировании данных от различных источников.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 16-19-00001, выполняемый Южным федеральным университетом.*

### Литература

1. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Федоренко Р.В., Гуренко Б.В., Чуфистов В.М., Шевченко В.А. Алгоритмы многосвязного позиционно-



траекторного управления подвижными объектами // Инженерный вестник Дона. 2014. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2579](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2579).

2. Хусаинов Н.Ш., Кравченко П.П., Салов В.В. Об исследовании бортовой интегрированной системы управления движением летательного аппарата с коррекцией координат // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2038](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2038).

3. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Крухмалев В.А. Базовые алгоритмы адаптивного позиционно-траекторного управления подвижными объектами при позиционировании в точке // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. №4. С. 219-225

4. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Адаптивное позиционное управление подвижными объектами, не линеаризуемыми обратной связью // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. №8. С. 523-530.

5. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Крухмалев В.А. Позиционно-траекторное управление подвижными объектами в трехмерной среде с точечными препятствиями // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №1(162). С 238-246.

6. Кульченко А.Е., Лазарев В.С., Медведев М.Ю. Метод управления движением гексакоптера в трехмерной среде с препятствиями на базе динамических отталкивающих сил // Инженерный вестник Дона. 2016. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3828](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3828).

7. Ривкин С.С., Ивановский Р.И., Костров А.В. Статистическая оптимизация навигационных систем. Ленинград : Судостроение, 1976. 280 с.

8. Степанов О.А., Лопарев А.В., Челпанов И.Б. Частотно-временной подход к решению задач обработки навигационной информации // Автоматика и телемеханика, 2014. № 6. С. 132–153.



9. Дмитриев С.П., Степанов О.А. Неинвариантные алгоритмы обработки информации инерциальных навигационных систем // Гироскопия и навигация. 2000. №01. С. 24-38.

10. Grewall M., Weill L.R., Andrews A.P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. New York : John Willey & Sons, 2006. 525 p.

11. Kalman R.E., Bucy R.S, New Results in Linear Filtering and Prediction Theory // Journal of Basic Engineering 1961. №1. pp. 95–108

### References

1. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu., Fedorenko R.V., Gurenko B.V., Chufistov V.M., Shevchenko V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2038](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2038).

2. Husainov N.Sh., Kravchenko P.P., Salov V.V., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2038](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2038).

3. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu., Krukhmalev V.A. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2015. №4. pp. 219-225

4. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2015. №8. pp. 523-530.

5. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu., Krukhmalev V.A. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2015. №1(162). pp. 238-246.

6. Kulchenko A.E. Lazarev V.S. Medvedev M.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3828](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3828).

7. Rivkin S.S., Ivanovskiy R.I., Kostrov A.V. Statisticheskaya optimizatsiya navigatsionnykh sistem. [Statistical optimization of navigation systems] Leningrad: Sudostroenie, 1976. 280 p.

8. Stepanov O.A., Loparev A.V., Chelpanov I.B. Avtomatika i telemekhanika, 2014. № 6. pp. 132–153.

9. Dmitriev C.P., Stepanov O.A. Giroskopiya i navigatsiya. 2000. №01. pp. 24-38.



10. Grewall, M., Weill, L.R., Andrews, A.P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. New York : John Willey & Sons, 2006. 525 p.
11. Kalman R.E., Bucy R.S. Journal of Basic Engineering 1961. №1. pp. 95–108