

2. Weiland T. A discretization method for the solution of Maxwell's equations for six-component fields // Electronics and Communication. 1997. Vol. 31. P. 116–120.

A. S. Antonov, Y. G. Antonov, S. V. Ballandovich, M. I. Sugak

LOW-PROFILE ANTENNA INTENDED FOR THE INSTALLATION ON UAV

Abstract. In this work the results of the investigation of the compact, low-profile, L-band antenna intended for the installation on UAV (unmanned air vehicle) are presented. This antenna has anisotropic azimuthal radiation pattern and vertical polarization. Antenna was designed at the Theoretical Bases of Radio Engineering Department of the Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI".

Low-profile antenna, vertical polarization, UAV

УДК 629.7.05

Я. А. Мелехов, В. К. Орлов

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ ОЦЕНКИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ МЕЖСАМОЛЕТНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОПАДАНИЙ В КАНАЛЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Представлен сравнительный анализ алгоритмов формирования выходной оценки относительной дальности при наличии пропаданий в канале измерения. Приведены результаты фильтрации для различных типов пропаданий.

Линейная система, несколько источников информации, оценивание при наличии пропаданий, кроссквариация, дискретный фильтр Калмана

Рассмотрим результаты исследования, описанного в работе [1], и распространим их на случай пропадания измерения относительной дальности (абсолютных координат) группы летательных аппаратов (ЛА). В качестве класса системы межсамолетной навигации (МСН) была выбрана автономная система, позволяющая работать независимо от других источников навигационной информации. Вследствие того, что в данном классе МСН измерение абсолютных координат производится на каждом ЛА с помощью пилотажно-навигационного комплекса (ПНК), к существенным недостаткам которого относится невысокая точность оценивания и накопление ошибок в процессе полета, было предложено для повышения точности определения абсолютных координат использовать данные от спутниковой радионавигационной системы (СРНС). Более подробную информацию о классах МСН, их достоинствах и недостатках можно найти в [2]. Однако использование СРНС влечет за собой ряд проблем, связанных с недостаточной информационной надежностью сигналов навигационных спутников, а также возможностью пропадания измерений координат, связанных с маневрированием ЛА. Таким образом, решение задачи формирования выходной оценки относительной дальности от нескольких источников (дальномер и СРНС) информации при наличии пропаданий в канале измерений является актуальной проблемой. В качестве алгоритмов формирования оценки выступают методы, представленные в работе [3].

Формальная постановка задачи. Целью исследования является сравнительный анализ алгоритмов формирования выходной оценки относительной дальности группы ЛА, предложенных в [3], при наличии пропаданий в канале измерения. Анализ проводился для различных типов пропаданий (одиночных и пакетных) и одной модели движения группы (равномерное движение с относительной скоростью, отличной от нуля).

В качестве источников информации выступает СРНС с периодом поступления данных 1 с и дальномер с периодом, равным 0,25 с. Период выдачи выходной оценки составляет 0,2 с. В случае отсутствия четырех измерений подряд готовность ФК и ФД сбрасывается. Дальнейший запуск производится по пришествии следующего измерения.

На графиках представлены распределения пропадания измерений от времени для двух источников информации – СРНС (рис. 1, а, б) и дальномера (рис. 2, а, б). Моменты времени, в которые происходят пропадания, отмечены ромбами.

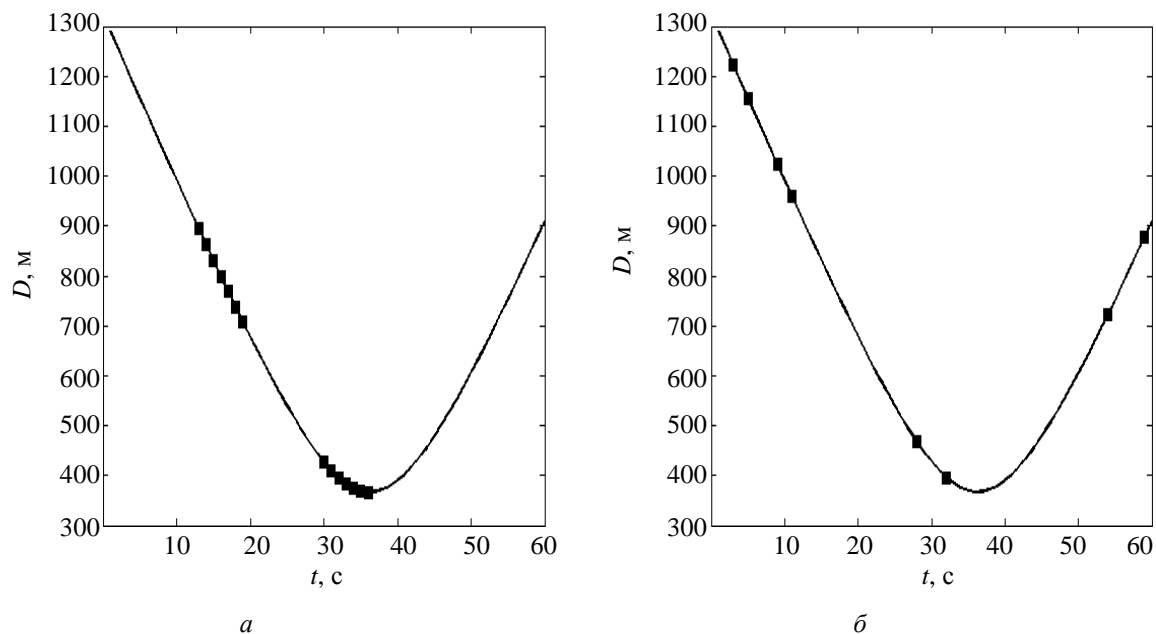


Рис. 1

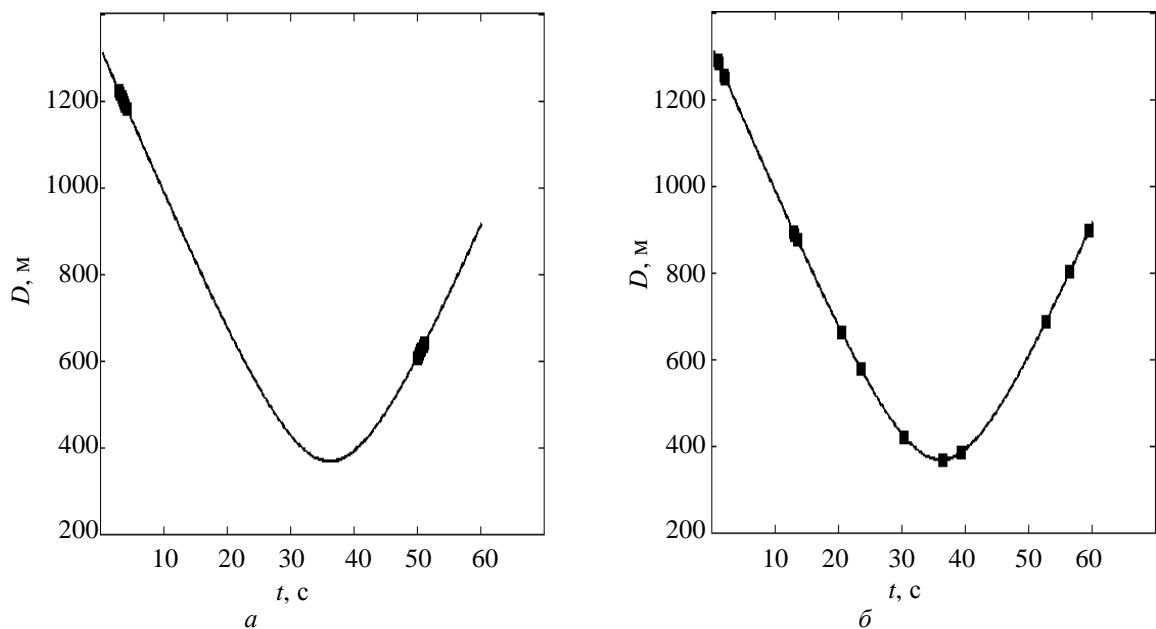


Рис. 2

Описание эксперимента. Методика эксперимента представлена на рис. 3. В отличие от схемы, рассмотренной в [2], на приемной стороне производится моделирование пропадания измерений полезного сигнала, затем данные поступают на две независимые модели

фильтра Калмана: ФК и ФД (Источник 1 и Источник 2 на рис. 3), каждый из фильтров формирует оптимальную оценку параметров согласно своему вектору состояния (ВС). Затем ВС каждого из источников пересчитывается в единый вектор состояния [2]. В конечном блоке производится расчет весовых коэффициентов $\bar{\mathbf{A}}_i$ и формируются выходная оценка $\hat{\mathbf{x}}_o$ и ковариационная матрица ошибок \mathbf{P}_o .

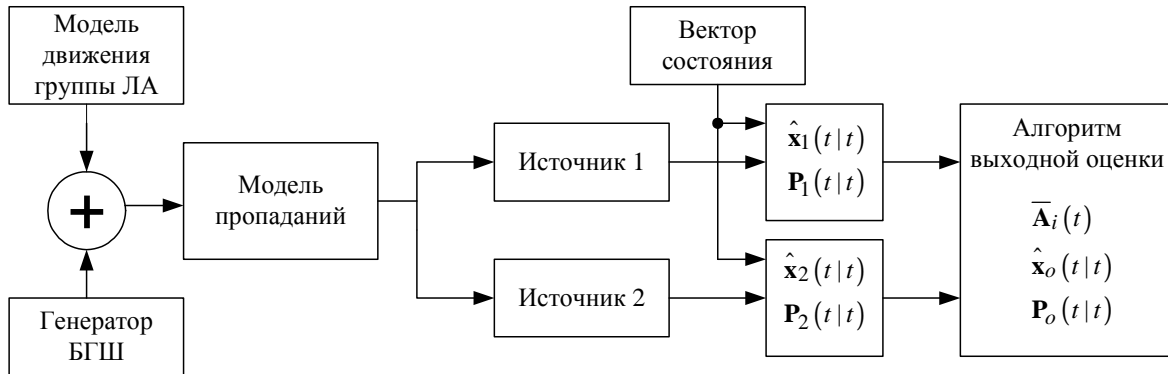


Рис. 3

На передающей стороне отсчеты белого гауссовского шума (БГШ) с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией смешиваются с истинными значениями координат и скоростей, рассчитанными для конкретной модели движения группы ЛА. Отсчеты шума предполагаются некоррелированными.

В основу рассмотренных методов легли различные варианты расчета взвешенных коэффициентов ВС фильтра координатной и дальномерной информации при определении выходной оценки относительной дальности. Подробный вывод формул взвешенных коэффициентов $\bar{\mathbf{A}}_i$, а также дисперсии оценок \mathbf{P}_o рассматриваемых алгоритмов осуществлен в [2], [3]. Здесь приведем окончательные результаты.

Первый алгоритм определения весовых коэффициентов основывается на том, что ошибки фильтрации $\tilde{\mathbf{x}}_i$ и $\tilde{\mathbf{x}}_j$ ($i \neq j$) являются некоррелированными случайными величинами. Таким образом, весовые коэффициенты рассчитываются по формуле

$$\bar{\mathbf{A}}_i^{-1} = \left(\sum_{j=1}^k \mathbf{P}_j^{-1} \right)^{-1} \mathbf{P}_i^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где $\mathbf{P}_i, \mathbf{P}_j$ – ковариационные матрицы ошибок фильтров.

Выражение для выходной оценки:

$$\hat{\mathbf{x}}_o^I = \left(\sum_{j=1}^k \mathbf{P}_j^{-1} \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^k \mathbf{P}_i^{-1} \hat{\mathbf{x}}_i \right).$$

Дисперсия оценки:

$$\mathbf{P}_o^I = \left(\sum_{j=1}^k \mathbf{P}_j^{-1} \right)^{-1}.$$

Для снижения вычислительной сложности, связанной с обращением матриц больших размеров, в ковариационной матрице ошибок элементы, стоящие не на главной диагонали, обнуляются, таким образом, в дальнейших расчетах матрица \mathbf{P}_i является диагональной $\bar{\mathbf{P}}_i$. Тогда коэффициенты $\bar{\mathbf{A}}_i$ будут представлять собой векторы, т. е.

$$\bar{\mathbf{A}}_i^{\text{II}} = \left(\sum_{j=1}^k \bar{\mathbf{P}}_j^{-1} \right)^{-1} \bar{\mathbf{P}}_i^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Выходная оценка:

$$\hat{\mathbf{x}}_o^{\text{II}} = \left(\sum_{j=1}^k \bar{\mathbf{P}}_j^{-1} \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^k \bar{\mathbf{P}}_i^{-1} \hat{\mathbf{x}}_i \right).$$

Дисперсия оценки:

$$\mathbf{P}_o^{\text{II}} = \left(\sum_{j=1}^k \bar{\mathbf{P}}_j^{-1} \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^k \bar{\mathbf{P}}_i^{-1} \mathbf{P}_i \bar{\mathbf{P}}_i^{-1} \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^k \bar{\mathbf{P}}_j^{-1} \right)^{-1}.$$

В качестве третьего алгоритма используется следующий этап упрощения матрицы, когда определяется только след ковариационной матрицы ошибок. В этом случае коэффициенты $\bar{\mathbf{A}}_i$ представляют собой скалярные величины:

$$\bar{\mathbf{A}}_i^{\text{III}} = \left(\sum_{j=1}^k \frac{1}{\text{tr } \mathbf{P}_j} \right)^{-1} \frac{1}{\text{tr } \mathbf{P}_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Выходная оценка:

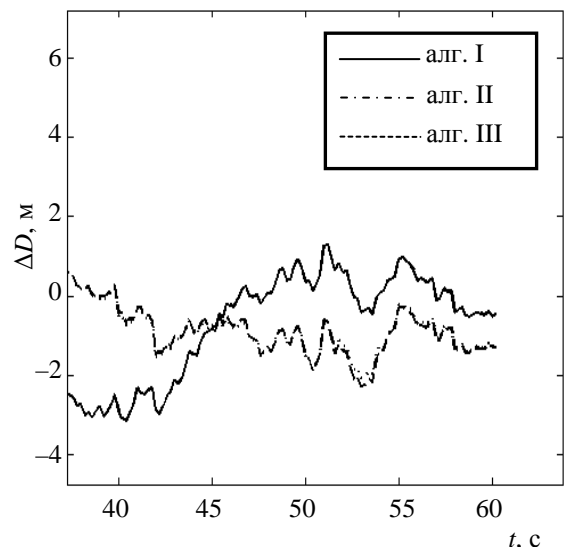
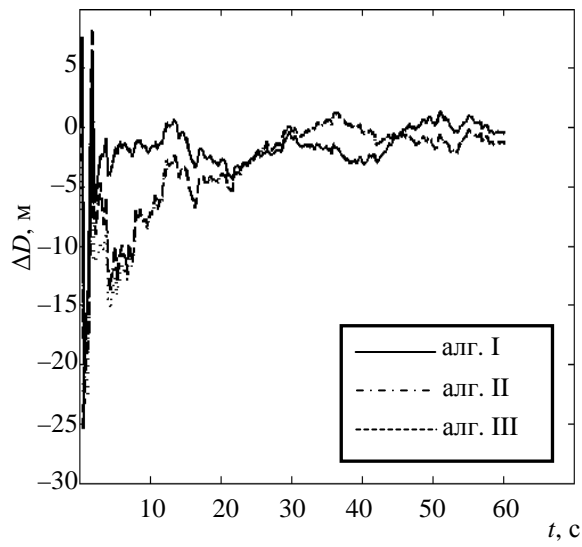
$$\hat{\mathbf{x}}_o^{\text{III}} = \left(\sum_{j=1}^k \frac{1}{\text{tr } \mathbf{P}_j} \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{\text{tr } \mathbf{P}_i} \hat{\mathbf{x}}_i \right).$$

Дисперсия оценки:

$$\mathbf{P}_o^{\text{III}} = \left(\sum_{j=1}^k \frac{1}{\text{tr } \mathbf{P}_j} \right)^{-2} \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{\text{tr } \mathbf{P}_i} \right)^2 \mathbf{P}_i.$$

Далее представлены сравнительные характеристики алгоритмов выходной оценки и произведен их анализ для различных моделей движения группы ЛА.

Результаты фильтрации. В качестве меры сравнения результатов работы трех алгоритмов формирования выходной оценки предложены две характеристики – разностная зависимость истинных значений относительной дальности и ее оценки от времени ΔD (рис. 4, 6 (*a* – разностная зависимость на всей длительности полета; *b* – увеличенный масштаб участка графика *a*), рис. 8, 10); зависимость коэффициента \mathbf{P}_{11} от времени, по которой можно судить о точности оценки относительной дальности (рис. 5, 7, 9, 11). Представленные результаты получены для различных комбинаций моделей пропаданий в ФК и ФД – одиночные-одиночные, одиночные-пакетные, пакетные-одиночные, пакетные-пакетные.



a

б

Рис. 4

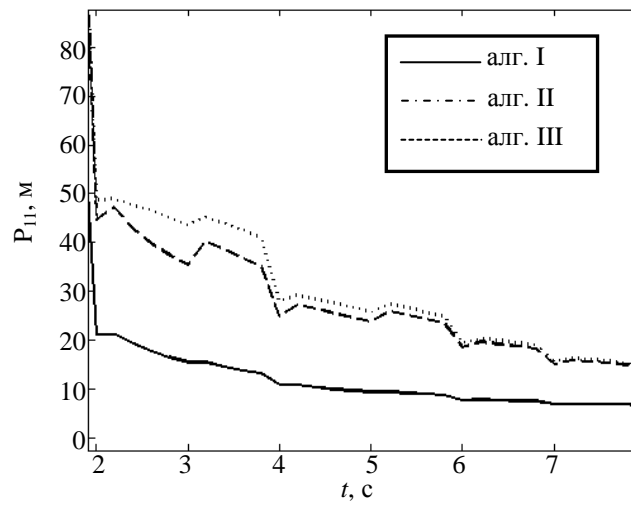
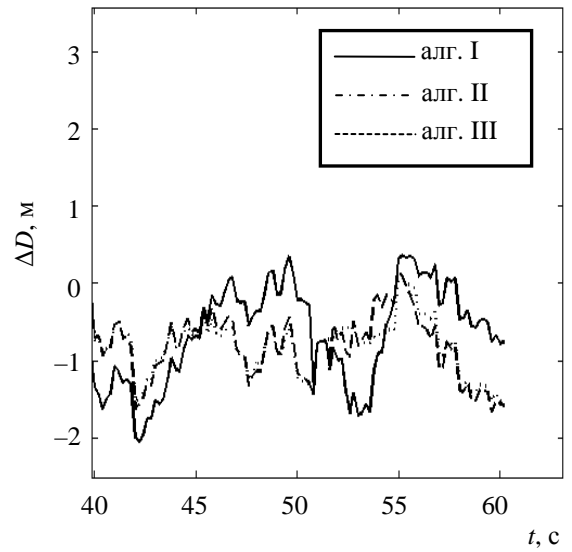
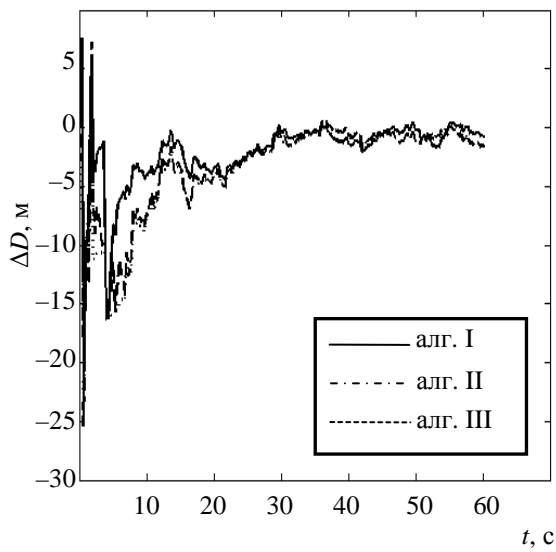


Рис. 5



a

б

Рис. 6

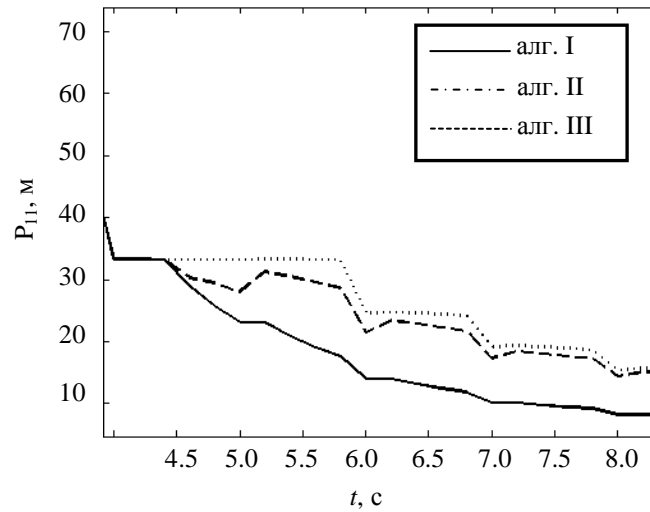


Рис. 7

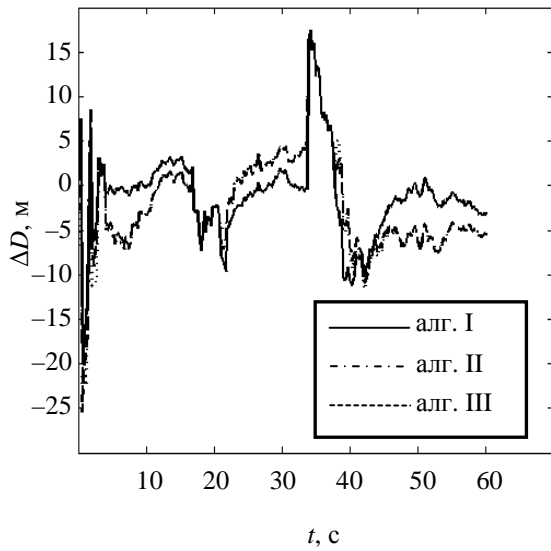


Рис. 8

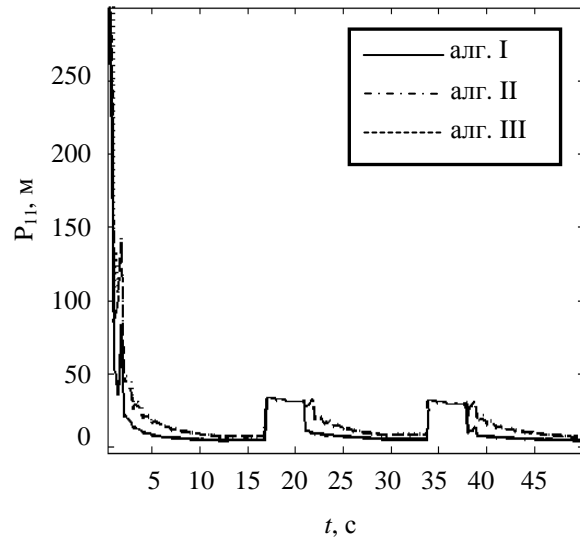


Рис. 9

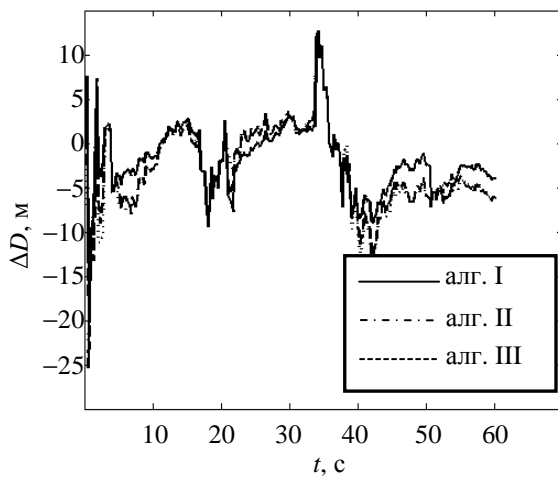


Рис. 10

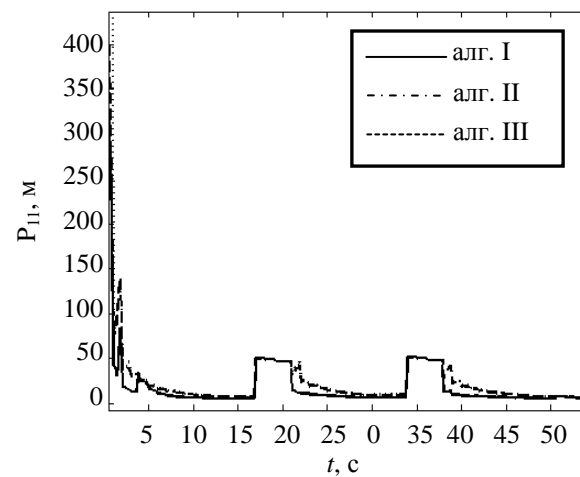


Рис.11

Из приведенных графиков видно, что наличие только лишь одиночных пропаданий не оказывает существенного негативного влияния на выходную оценку относительной дальности. Вычисление взвешенных коэффициентов оценок ФК и ФД позволяет эффек-

тивно бороться с наличием пропаданий в измерениях, так как вес (вклад в выходную оценку) экстраполированной оценки (в момент пропадания измерения) фильтра будет меньше, чем фильтрованной оценки. При самом худшем сценарии, когда при наличии пакетных пропаданий один из фильтров отключается, график дисперсии выходной оценки (рис. 9, 11) имеет характерный скачок. Такое поведение связано с тем, что в качестве дисперсии выходной оценки в такие моменты времени выступает дисперсия оценки активного фильтра (ФД). Что же касается точности рассмотренных алгоритмов, то из представленных зависимостей видно, что первый алгоритм дает более точные результаты. Дисперсии выходной оценки второго и третьего алгоритмов практически одинаковы. Однако из-за математической сложности реализации первого алгоритма (сложность равна $O(n^3)$, что накладывает существенные ограничения на количество ЛА в группе) целесообразно использовать третий алгоритм мультиплексирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герчиков А. Г., Чернявский А. Г. Локальные радиотехнические системы межсамолетной навигации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
2. Мелехов Я. А., Орлов В. К. Сравнительный анализ алгоритмов формирования выходной оценки относительной дальности в задачах межсамолетной навигации // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. Вып. 5. С. 8–15.
3. S.-li Sun. Multi-sensor optimal information fusion Kalman filters with applications // Aerospace Science and Technology. 2004. № 8. С. 57–62.

Y. A. Melekhov, V. K. Orlov

PERFORMANCE OF MULTI-SENSOR FUSION ALGORITHMS OF RELATIVE DISTANCE ESTIMATIONS WITH MISSING MEASUREMENTS

Performance of 2-sensor fusion algorithms of relative distance estimation with missing measurements is presented. Kalman filters results for two types of missing measurements are given in the article.

Linear system, multi-sensor, estimation with missing estimation, cross-covariance, discrete Kalman filter