

# Алгоритм оценивания коэффициента поляризационной анизотропии метеообразований на основе фильтра Калмана

Л.Н. Хлопотников\*

Сургутский государственный университет ХМАО – Югры  
628408, г. Сургут, пр. Ленина, 1

Поступила в редакцию 20.03.2011 г.

Обсуждаются вопросы синтеза алгоритма оценивания поляризационной анизотропии метеообразований на основе методики теории фильтрации Калмана. С помощью имитационного моделирования проведены исследования и получены результаты, характеризующие точность синтезированного алгоритма. Результаты представляют интерес для специалистов в области радиолокационной метеорологии и имеют важное значение для прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с ливнями, грозами, градом и пр.

*Ключевые слова:* поляризация, поляризационная анизотропия, оптимальная фильтрация; polarization, polarization anisotropy, filtering.

## Введение

Поляризационные свойства метеорологических образований определяются [1–5] коэффициентом анизотропии или эквивалентным ему параметром – фактором формы. Поляризационная анизотропия метеообразований обусловлена несферичностью элементарных рассеивателей и может быть измерена как отношение уровней отраженных сигналов, принимаемых радиолокатором при круговой и линейной поляризациях излучения.

Сигнал, отраженный от метеообразований, является флуктуирующим, что обусловлено движением и процессом коагуляции рассеивателей внутри рассматриваемого объема. В точке приема полезный флуктуирующий сигнал смешивается с собственными шумами приемника, что приводит к ошибкам в оценке значений коэффициента анизотропии.

В простейшем случае для получения количественной оценки коэффициента анизотропии используют принцип равномерного осреднения по ограниченной выборке измерений сигнала [4]. Однако при всей простоте реализации этот принцип не обеспечивает оценку коэффициента в темпе поступления измерений. Кроме того, при усреднении менее 30 отсчетов принимаемого сигнала возникает смещение искомой оценки [6].

Повышение точности оценки коэффициента анизотропии достигается с помощью цифровой обработки сигнала. При этом алгоритмы обработки данных могут быть реализованы в процессоре, структурно включенном в многофункциональную радиолокационную станцию (МРЛС) [6].

В [7] предложен алгоритм для оценки поляризационной анизотропии метеообразований на основе фильтра Калмана, который позволяет получить оптимальную байесовскую оценку переменных состояния линейной динамической системы, с минимальной среднеквадратической ошибкой (СКО) [8, 9]. Данный алгоритм был исследован на устойчивость методом имитационного моделирования на ЭВМ. При этом в качестве шума измерений использовалась случайная последовательность, программно генерируемая с помощью датчика случайных чисел.

Для проверки возможности практического применения алгоритма оценивания был собран экспериментальный макет на базе МРЛС «Гроза». Это позволило вместо шумов, генерируемых датчиком случайных чисел, использовать сигнал реальной МРЛС. На вход фильтра Калмана (ФК) подавался процесс, представляющий аддитивную смесь процесса, распределенного по закону Рэлея, и шумов из МРЛС. Оценивание качества работы фильтра проводилось по ансамблю независимых сеансов. Каждый сеанс состоял из 100 измерений.

Параметры инициации фильтра подбирались экспериментально и представляли собой значения, обеспечивающие минимум СКО оценивания и продолжительности переходного процесса. График сходимости фильтра для однократной реализации приведен на рис. 1.

График поведения СКО оценивания по ансамблю из 100 реализаций представлен на рис. 2.

Результаты исследования показывают, что полученный алгоритм оценивания коэффициента анизотропии работает устойчиво и позволяет компенсировать ошибку измерений в установившемся режиме в 2 раза. При этом переходные процессы в фильтре заканчиваются к моменту времени  $k \approx 15$ .

\* Леонид Николаевич Хлопотников (f2extreem@gambler.ru).



Рис. 1. График сходимости фильтра Калмана при однократной реализации для коэффициента поляризационной анизотропии

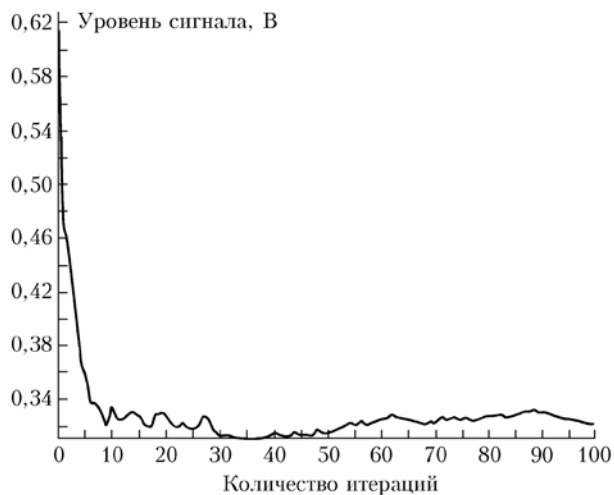


Рис. 2. Поведение СКО оценивания по ансамблю из 100 реализаций

Работа выполнена на кафедре радиоэлектроники ГОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры», научные руководители – д.т.н. Н.Н. Бадулин и к.т.н. Ю.Б. Попов.

1. Шуляцкий А.Б. Радиолокационное рассеяние несферическими частицами // Тр. ЦАО. 1959. Вып. 9. С. 39–52.
2. Гершензон Ю.М. Рассеяние радиоволн эллиптической поляризации несферическими частицами атмосферы / Ю.М. Гершензон, А.Б. Шуляцкий // Тр. ЦАО. 1961. Вып. 36. С. 102–108.
3. Дистанционное зондирование микрофизической структуры облаков с использованием поляризационной манипуляции / Н.Н. Бадулин, А.П. Бацула, Е.Б. Кульшенева, С.П. Лукьянов, Е.В. Масалов, В.Н. Татаринцов // Изв. вузов СССР. Физика. 1983. № 6. Деп. ВИНТИ. № 219.
4. Экспериментальное исследование анизотропии рассеяния радиолокационных сигналов облаками и осадками / Н.Н. Бадулин, А.П. Бацула, Е.Б. Кульшенева, С.П. Лукьянов, Е.В. Масалов, В.Н. Татаринцов // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1984. Т. 20, № 6. С. 505–510.
5. Рассеяние радиолокационных сигналов совокупностью несферических частиц (доклад) / Н.Н. Бадулин, С.В. Матвеев // IX Междунар. научно-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь»: Сб. докл. Воронеж: Изд-во НПФ «САКВОЕЕ», 2003. С. 1730.
6. Довиак Р., Зрич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения / Под ред. А.А. Черникова. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 509 с.
7. Бадулин Н.Н., Попов Ю.Б., Хлопотников Л.Н. Применение аппарата фильтрации Калмана при оценке радиолокационным способом поляризационной анизотропии метеообразований // Докл. Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 2. С. 12–16. ISSN 1818-0442.
8. Комаров В.С., Попов Ю.Б., Суворов С.С. Динамико-стохастические методы и их применение в прикладной метеорологии / Под общ. ред. Г.Г. Матвиевко. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. 236 с.
9. Сейдж Э.П., Мэлс Дж.Л. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. 496 с.

*L.N. Khlopotnikov. Algorithm for estimating polarization anisotropy of meteorologic formations by the method of Kalman filtration.*

The algorithm created for estimation of polarization anisotropy. The algorithm is based on the theory of Kalman filtration. The simulation results characterize the accuracy of the synthesized algorithm. The results are of interest to specialists in the field of radar meteorology for forecasting of emergency situations associated with showers, thunderstorms, hail.