

Моделирование работы измерителя высоты нижней границы облачности

В. В. Попов, email: corybook05@yandex.ru¹

А. А. Уткин²

В. А. Повхлеб¹

Я. В. Шугайлов¹

¹ ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

² ООО «ЛОМО МЕТЕО»

***Аннотация.** В статье рассматривается процесс моделирования работы измерителя высоты нижней границы облачности в сложных атмосферных условиях. Предложены усовершенствованные алгоритмы фильтрации составляющих анализируемых сигналов обратного рассеяния.*

***Ключевые слова:** Сигнал обратного рассеивания, детектирование слабых сигналов, облачные слои, атмосферные осадки.*

Введение

Среди измерителей высоты нижней границы облачности (ВНГО) интерес представляют лазерные измерители, не имеющие в настоящее время достойных альтернатив. Лазерные измерители обладают отличной чувствительностью и, как следствие, хорошими метрологическими характеристиками, имеют небольшую массу и габариты в сравнении с светолокационными (ламповыми) измерителями ВНГО, так как выполнены в одном корпусе, и не требовательны к обслуживанию [1].

Опыт эксплуатации измерителей показал, что они обеспечивают достоверные измерения ВНГО, однако были выявлены следующие основные недостатки:

- ограниченный ресурс лазерного модуля;
- ограниченный ресурс модуля обдува защитного стекла;
- встроенные модули защиты питания и линии связи.

Улучшение метрологических характеристик предполагается достигнуть путем:

- модернизации лазерного модуля, в том числе за счет переработки схемы питания и изменения алгоритмов формирования импульсов тока, внедрения системы термостабилизации;

переработки усилительного тракта и применения лавинного фотоприемника.

При решении этих задач так же предполагается принять ряд мер для устранения или уменьшения влияния факторов, оказывающих негативное влияние на ресурс лазерного модуля, с целью увеличения его срока службы [2].

1. Структурная схема измерителя

Разрабатываемый в рамках модернизации аэродромного метеорологического радиотелеметрического информационно-измерительного комплекса измеритель относится к измерителям лазерного типа. Принцип работы измерителя заключается в посылке в направлении цели (облака) серии импульсов и измерении на временном интервале интенсивности отраженного сигнала [3-4]. Полученный таким образом профиль обратного рассеивания анализируется микроконтроллером для получения информации об облачной обстановке и погодных явлениях, снижающих вертикальную видимость (туман, дымка, осадки), и количественного выражения ВНГО.

Структурная схема измерителя представлена на рисунке 1.



Рис. 1. – Структурная схема

Конструктивно оптическая схема представляет собой независимые приемный и передающий каналы, оптические оси которых совмещены.

Преимуществами выбранной оптической схемы являются:

независимость приемного и передающего каналов, позволяющая осуществлять измерения непосредственно от защитного стекла прибора, в то время как аналогичные датчики с совмещенным приемо-передающим каналом либо имеют слепую зону в диапазоне от 0 до 15 м, либо имеют сложную и дорогостоящую схему высокоскоростной автоматической регулировки усиления (АРУ), позволяющей изменять коэффициент усиления во время регистрации сигнала обратного рассеивания;

наличие оптической компенсации избыточного рассеянного излучения в ближней зоне, которая позволяет упростить усилительный тракт и минимизировать вносимые им искажения.

Пример работы оптической компенсации показан на рисунке 2, где сплошной линией показан профиль обратного рассеивания экспериментального измерителя, а пунктирной линией показана теоретическая форма сигнала, полученного без оптической компенсации. Примечательно, что для получения схожего эффекта оптической компенсации измерители светолокационного (лампового) типа имеют разнесенные на значительное удаление приемный и передающий блоки.

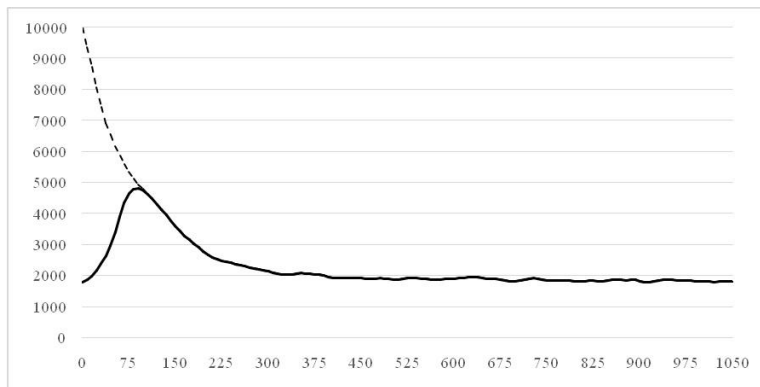


Рис. 2. – Пример работы оптической компенсации избыточного рассеянного излучения в ближней зоне

2. Реализация усовершенствованных алгоритмов обработки сигнала обратного рассеивания

На этапе разработки технического проекта было проведено моделирование работы изделия в различных условиях состояния атмосферы и погодных явлениях, снижающих вертикальную видимость.

Отрабатывались различные алгоритмы работы микропроцессора изделия и в дальнейшем отбирался наиболее эффективный из них. На рисунке 2 показан пример работы наиболее эффективной оптической компенсации избыточного рассеянного излучения в ближней зоне.

Ранее в изделиях применялся кремниевый фотодиод, который из-за худшей чувствительности (в сравнении с лавинным ФПУ) требует от лазерных излучателей постоянной работы на пределе расчетных характеристик, что сокращает ресурс лазерного модуля.

Кроме того, быстродействие фотоприемного устройства (ФПУ) на основе кремниевого фотодиода не позволяет разрешать ряд неопределенностей при анализе сигнала в сложных метеоусловиях. В частности, использование коэффициента асимметрии при детектировании нижнего слоя облачности на высотах от 30 до 120 м в условиях выпадения осадков из более высокого слоя облачности, требует корректировки на искажение симметрии сигнала, вносимое ФПУ.

Полупроводниковый лавинный фотоприемник имеет на порядок большую чувствительность и большее быстродействие, что позволит:

вывести лазерный модуль из предельного режима работы;

выполнить требование ТТЗ в части диапазона и погрешности измерений;

повысить качество измерений в сложных метеоусловиях.

Применение лавинного ФПУ требует реализации сложной схемы формирования стабилизированного высоковольтного питания с температурной компенсацией, однако эффект от перехода на лавинное ФПУ полностью оправдывает затраты на разработку.

В ходе моделирования были получены данные, наглядно демонстрирующие преимущество лавинного ФПУ (рисунк 3).

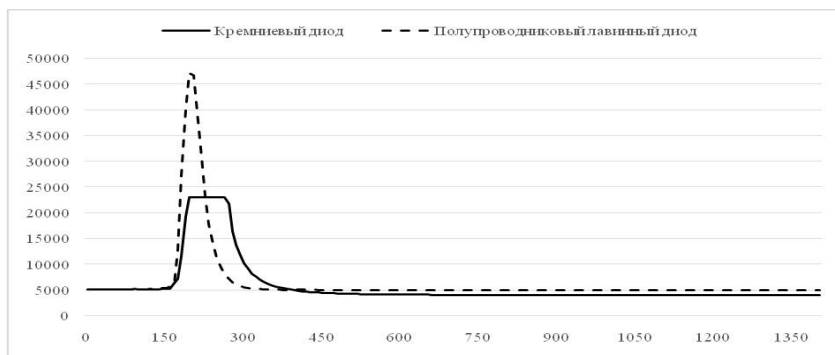


Рис. 3. – Профиль сигнала обратного рассеивания

Модернизация модуля вычислителя, применение более чувствительного и быстрого лавинного ФПУ в комплексе с усовершенствованными программными алгоритмами обработки сигнала обратного рассеивания позволят повысить качество измерений, в том числе достоверно различать ВНГО в случае, когда из низких облаков идут сильные осадки в виде снега. В ходе моделирования определен алгоритм, позволяющий определить момент перепада плотности на сигнале. На рисунке 4 представлены сигналы «без осадков» и «с осадками», которые сняты с интервалом в 10 мин при ВНГО от 60 до 65 м.

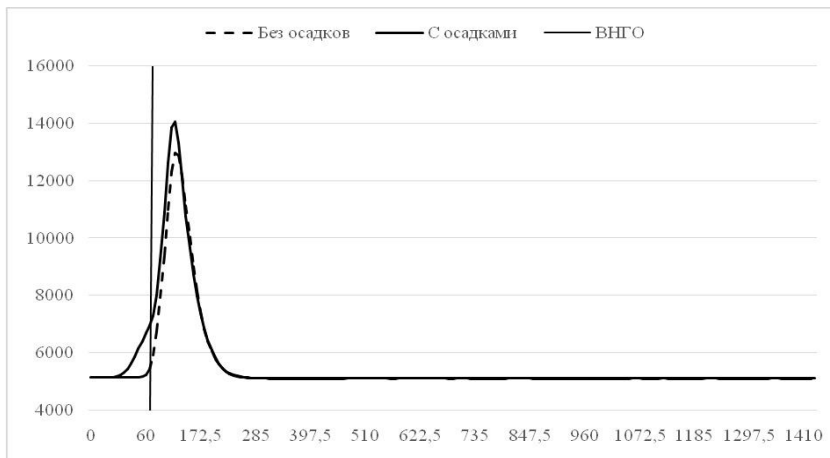


Рис. 4. – Пример работы алгоритма при определении ВНГО в снегопад

Новые алгоритмы работы измерителя позволят детектировать и обрабатывать процесс облакообразования, когда сигнал обратного рассеивания показывает наличие частиц, снижающих вертикальную видимость, однако дальность распространения лазерного луча свидетельствует о том, что формируемые в данный момент слои не создают угрозу безопасности полетов (на небе различимы звезды). В случае, представленном на рисунке 5 алгоритм выдаст дальность до слоя облачности на высоте 1660 м. При этом, понятие вертикальной видимости для изделия не используется, однако выдаваемое значение ВНГО всегда меньше значения вертикальной видимости и основывается на перепаде плотности в атмосфере, а не на затухании рассеянного сигнала.



Рис. 5. – Пример работы алгоритма определения ВНГО при наличии частиц, несущественно снижающих вертикальную видимость (ВВ)

Важной особенностью алгоритма является возможность выделять до двенадцати облачных слоев, рассчитывая параметры каждого слоя для решения сложных задач определения ВНГО в условиях неустойчивых (быстро изменяющихся) атмосферных образований, как показано на рисунке 6.

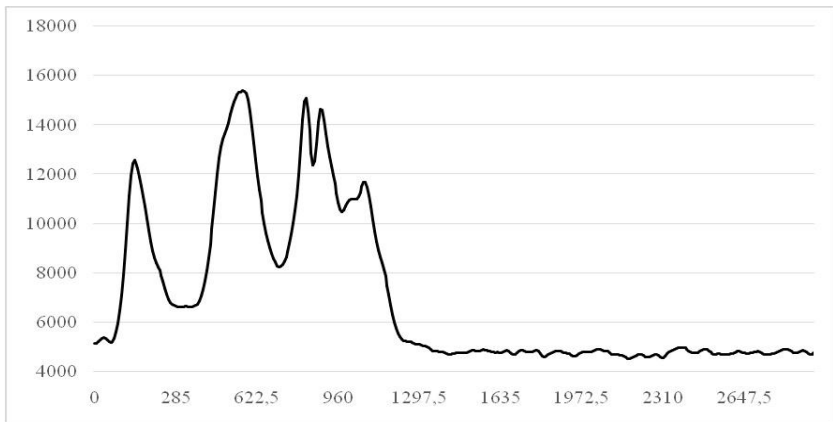


Рис. 6. – Пример сигнала обратного рассеивания, полученный в условиях сложного атмосферного образования

Алгоритм позволяет детектировать слабые сигналы обратного рассеивания (незначительно превышающие уровень) с целью обнаружения и определения дальности до облачного слоя, сигнал от которого значительно ослаблен атмосферными осадками. На рисунке 7 представлен сигнал от успешно детектированного облака на высоте 1880 м в условиях интенсивных осадков в виде снега.

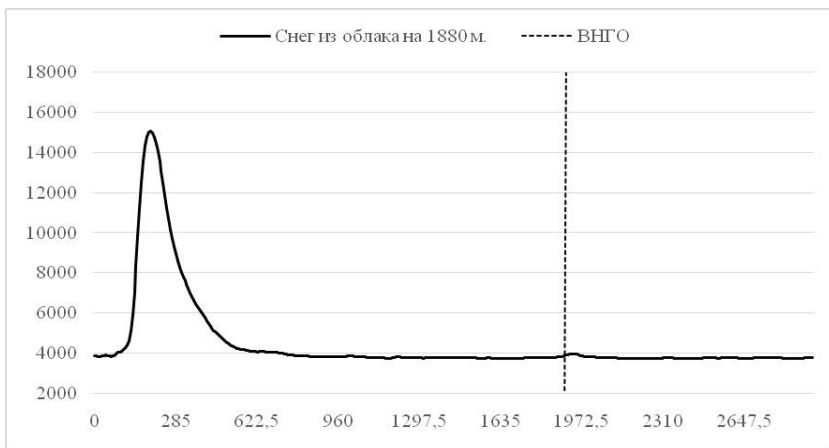


Рис. 7. – Пример детектирования облака на высоте 1880 м в условиях осадков в виде снега

Заключение

Этап модельных исследований измерителя ВНГО показал, что в первую очередь для удовлетворения требований тактико-технического задания стоят задачи по улучшению метрологических и эксплуатационных характеристик, увеличению надежности и технологичности производства с учетом существующей политико-экономической ситуации, и задач снижения зависимости от компонентов импортного производства.

Важной задачей является усовершенствование алгоритмов фильтрации составляющих анализируемых сигналов обратного рассеивания.

Решение данной задачи в ходе модельных экспериментов с усовершенствованными программными алгоритмами обработки сигнала обратного рассеивания позволило:

повысить качество измерений, в том числе достоверно различать ВНГО в случае, когда из низких облаков идут сильные осадки в виде снега;

детектировать и обрабатывать процесс облакообразования, когда сигнал обратного рассеивания показывает наличие частиц, снижающих вертикальную видимость, однако дальность распространения лазерного луча свидетельствует о том, что формируемые в данный момент слои не создают угрозу безопасности полетов;

выделять до двенадцати облачных слоев, рассчитывая параметры каждого слоя для решения сложных задач определения ВНГО;

детектировать слабые сигналы обратного рассеивания (незначительно превышающий уровень) с целью обнаружения и определения дальности до облачного слоя, сигнал от которого значительно ослаблен атмосферными осадками.

Список литературы

1. Аэродромный метеорологический радиотелеметрический информационно-измерительный комплекс (АМРИИК): Руководство по эксплуатации ИКШЮ (ИКШЮ. 416318.001 РЭ). – СПб.: ЛОМО-МЕТЕО, –2016. –56 с.

2. Руководящий документ. РД 52.18.761-2012 Средства измерений гидрометеорологического назначения сетевые. Общие технические требования. – Обнинск. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». –2012. –137 с.

3. Комиссия по приборам и методам наблюдений. Шестнадцатая сессия. Санкт-Петербург. 10-16 июля 2014 г. Сокращенный окончательный отчет с резолюциями и рекомендациями, ВМО-№ 1138. – 97 с.

4. Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации. ВМО-№ 731, Издание 2014 г. –56 с.