

Способ определения толщины ледового покрова многочастотной бортовой радиолокационной системой с синтезированием апертуры

К. В. Бакурский¹, О. Л. Полончик²

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

¹klim_bak@mail.ru, ²o.polonchik@yandex.ru

Аннотация. A method is proposed for determining the thickness of the ice cover, which is based on the difference in the reflection of electromagnetic waves of the millimeter and centimeter ranges at the boundary of the air-ice-water media sections and determining the difference in the course of the rays.

Ключевые слова: reflection of electromagnetic waves; correlation convolution of signals; determination of ice cover thickness; helicopter unmanned aerial vehicle

I. ВВЕДЕНИЕ

Методы радиолокационного дистанционного зондирования поверхности Земли. имеют особое значение для получения данных о параметрах ледяного покрова замерзающих акваторий и позволяют собрать детальную информацию о его пространственной структуре, обеспечивая эффективное и безопасное осуществление хозяйственной деятельности в этих районах, играют ключевую роль в национальных ледово-информационных системах для мониторинга ледяного покрова, где использование традиционных методов измерения толщины льда затруднено, или невозможно.

Наиболее эффективным диапазоном для радиолокаторов обзора поверхности является миллиметровый, в котором можно обеспечить лучшее пространственное разрешение и радиометрический контраст. Существенным недостатком этого диапазона является большое затухание радиосигнала в атмосфере [1].

Глубина проникновения электромагнитной волны зависит от соотношения между длиной волны падающего сигнала и значения комплексной диэлектрической проницаемости среды.

С увеличением частоты сигнала глубина проникновения в среду уменьшается.

Для решения задач изучения свойств ледовых покрытий могут эффективно применяться самолетные радиолокационные средства. Однако в условиях сокращения бюджетного финансирования авиационных ледовых наблюдений, в настоящее время ледовая авиаразведка фактически проводится в России лишь с вертолетов (с базированием на ледоколах, нефтедобывающих платформах и удаленных посадочных площадках).

Геометрическое разрешение радиолокационных систем с реальной апертурой может быть улучшено путем применения радиоволн с более короткой длиной или путем увеличения габаритов антенны. Однако, переход в более высокочастотный диапазон работы радиолокационной системы вызывает снижение величины излучаемой в импульсе энергии. Увеличение длины антенны технически ограничено размерами и грузоподъемностью вертолета.

II. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА

Характеристики ледяного покрова, как правило, определяются по косвенным признакам [2]. Так, например, определяется сплошность ледяного покрова и толщина льда.

Рассмотрим перспективы многочастотного радиолокационного зондирования земных покровов со слоистой структурой. Механизмы прохождения радиоволн через среды с различными радиофизическими свойствами имеют свои особенности. В первую очередь это касается процесса взаимодействия электромагнитных колебаний на границе двух сред. Основными параметрами, определяющими волновые процессы в среде, являются скорость распространения и затухание, которые зависят от электрических параметров среды – удельной проводимости, диэлектрической и магнитной проницаемости [3, 4, 5].

Существует методика определения толщины льда в сверхвысокочастотном диапазоне [2], основанная на измерении яркостной температуры. Согласно методике, максимальная толщина льда зависит от частотного диапазона и чувствительности радиометра. Оценим глубину проникновения электромагнитных волн (δ) в лед, на которой амплитуда волны уменьшается в e раз:

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\sqrt{\epsilon'}}{\epsilon''}$$

где λ – длина волны, см;

ϵ' , ϵ'' – диэлектрические постоянные воздушной среды и льда соответственно.

Диэлектрическая постоянная льда зависит от его температуры, солености и плотности. Для разных типов

льдов и длины волны, глубина проникновения электромагнитных волн меняется от дециметров до десятков метров [2].

Построим зависимость глубины проникновения электромагнитных волн от их длины, при значении относительной диэлектрической постоянной льда – 4 и воздуха – 1 соответственно (рис. 1).

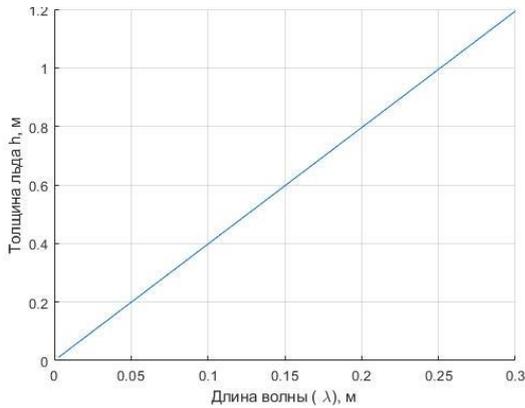


Рис. 1. Зависимость глубины проникновения ЭМП в лёд от длины волны

При значениях длины волны 3 мм и 30 см глубина проникновения электромагнитного излучения в лёд составит от 1,5 мм до 1,2 м.

Предлагаемый способ определения толщины снежного и ледового покрова реализуется использованием двухчастотной бортовой радиолокационной системой с синтезированием апертуры, установленной на вертолетном беспилотном летательном аппарате.

Принцип работы бортовой системы представлен в [6]. Отличие состоит в том, что формируется два запросных гармонических сигнала с длинами волн 3 мм и 30 см, синхронизированных между собой. Получаемые после обработки корреляционные отклики от этих сигналов смещены по времени между собою. Это смещение определяется разностью расстояний, которое проходят эти колебания. Излучение на частоте 3 мм отражается от ледовой поверхности (проходит в лёд на 1,5 мм), излучение на частоте 30 см проходит через слой льда и отражается от воды.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Компьютерное моделирование процессов приёма и обработки сигналов выполнено при следующих исходных данных: вертолёт находится на высоте $H_c = 4000$ м; движется со скоростью $V_c = 30,0$ м/с; угловая скорость лопасти винта $\Omega = 5$ об/с, угол $\varphi_c = 0^0$, угол настройки фильтра $\varphi_\phi = 0$ рад, угол $\Theta_\phi = 40^0$, длина волны $\lambda = 0,3$ и $0,003$ м, длина лопасти вертолёта $l = 7,5$ м.

Временные диаграммы сигналов на выходе системы обработки, полученные в результате компьютерного моделирования с использованием алгоритмического языка программирования Matlab, представлены на рис. 2–5. На

рис. 2–3 максимумы сверток сигналов по времени совпадают (сигналы отражаются от одной поверхности).

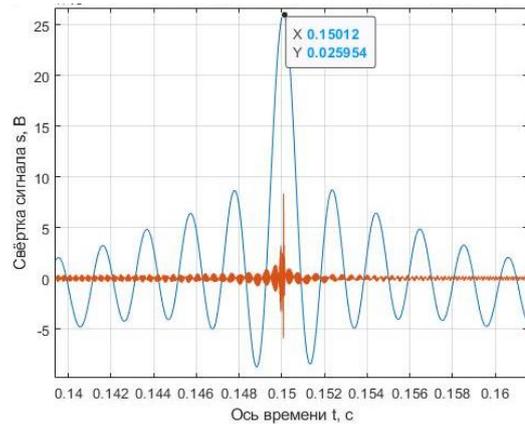


Рис. 2. Определение максимума свёртки сигнала, длина волны 30 см

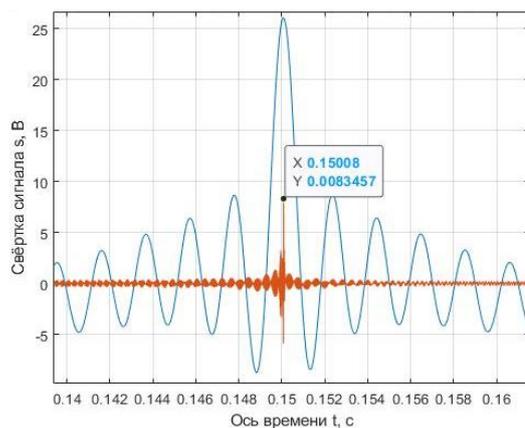


Рис. 3. Определение максимума свёртки сигнала, длина волны 3 мм

На рис. 4–5 представлены результаты сверток сигналов, длина волн 3мм и 30 см, во времени при отражении от границ трех сред: воздух – лед – вода. Наблюдается временная задержка между корреляционными пиками, которая определяет толщину ледового покрытия.

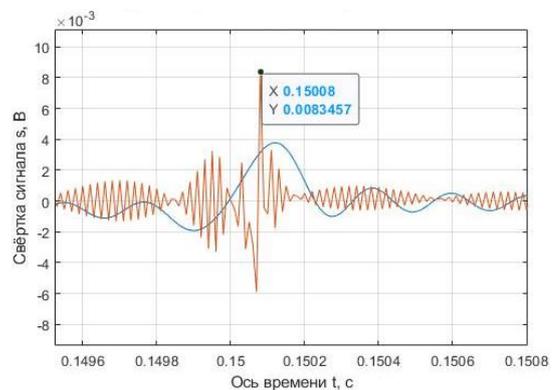


Рис. 4. Определение максимума свёртки сигнала, длина волны 3 мм

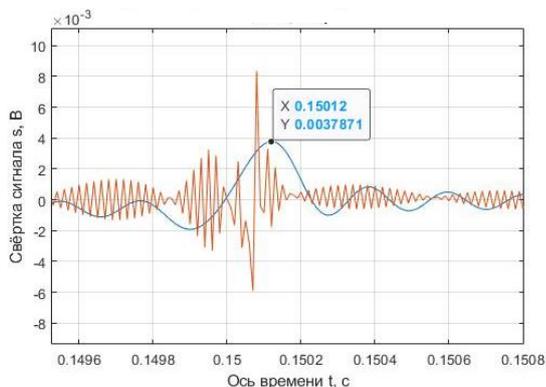


Рис. 5. Определение максимума свёртки сигнала, длина волны 30 см

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов моделирования могут быть сделаны следующие выводы: предлагаемый способ позволяет дистанционно получить информацию об одном из параметров ледовых покрытий – толщине льда. В

дальнейшем предполагается исследовать влияние на этот параметр различие поляризации отраженных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Краберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. М. Мир, 1988. 343 с.
- [2] Спутниковые методы определения характеристик ледового покрова морей: Практич. Пособие / Под ред. В.Г. Смирнова СПб.: ААНИИ, 2011. 240 с.
- [3] Аэрокосмический радиолокационный мониторинг Земли: Коллективная монография / Под ред. А.И. Канащенкова. М.: Радиотехника. 2006. 240 с.: ил.
- [4] Зубкович С.Т. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М.: Сов. радио, 1968. 224 с.
- [5] Carrara WG., Goodtap R.S., Majevski R.M. Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms. Boston, London, Artech House. 1995. 554 p.
- [6] Особенности построения бортового вертолетного радиолокатора ледовой разведки на основе кругового обзора земной поверхности с синтезированием апертуры вращающейся антенны / А.П. Алёшкин, В.В. Владимиров, О.Л. Полончик и др. // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 2. С. 71–77.