

Предварительные результаты эксперимента по определению толщины снежного покрова с помощью георадара и лазерного дальномера

В.Н.Марчук, В.И. Григорьевский, О.А. Бышевский - Конопко

ФИРЭ им В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино, Московской области;
Marchuk@ms.ire.rssi.ru

В работе рассмотрена возможность использования георадара в комплексе с лазерным дальномером для определения толщины снежного покрова, описано проведение эксперимента в соответствии с предложенным методом и выполнен сравнительный анализ данных, полученных в результате эксперимента.

The paper considers the possibility of using GPR in combination with a laser rangefinder to determine the thickness of snow cover, describes the experiment in accordance with the proposed method, and performs a comparative analysis of the data obtained as a result of the experiment.

Дистанционное определение толщины снежного покрова до сих пор считается актуальной задачей для решения ряда важных экономических задач, а именно: предотвращение обрушения крыш в гипермаркетах и аквапарках, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, определение степени опасности весенних наводнений и паводков, для оценки опасности схода лавин в горных местностях, для установления метеорологических законов формирования климата на определенной территории и т.д.

Диэлектрическая проницаемость снега может меняться в широких пределах в зависимости от его рыхлости и влажности: от 1.2 в сухую морозную погоду для свежеснежавшего снега до 5 в сырую погоду для плотного снега [1]. При приближении диэлектрической проницаемости к единице коэффициент отражения воздух снег стремится к нулю. В силу этого для уточнения положения верхней кромки снега наряду с георадаром, работающим в радиодиапазоне, обладающем высоким коэффициентом отражения от поверхности Земли, предлагается использовать лазерный дальномер, оптический сигнал которого имеет коэффициент отражения от снега более ~ 0.7 [2]. Применение радиолокационных методов для измерения толщины льда разработаны и применяются довольно давно [3-5]. Способ измерения толщины снега на оптических и радиоволнах также известен и описан в работе [6], однако характеристики и какие-либо экспериментальные результаты по его осуществлению не приводятся, а частотные диапазоны зондирования указываются достаточно условно.

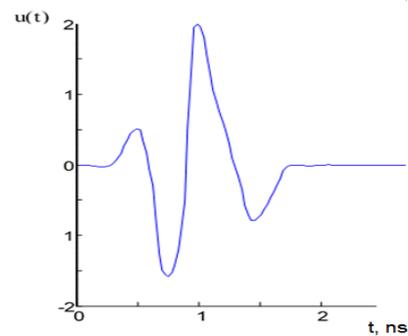
Целью работы является получение предварительных экспериментальных результатов по точности определения толщины снежного покрова с помощью георадара и лазерного дальномера. Для проведения эксперимента был выбран полигон с переменной высотой снега от 100 до 500 мм (Рис.1). В качестве прибора радиолокационного зондирования использовался рабочий макет георадара «Герад 2200» (Рис.2).



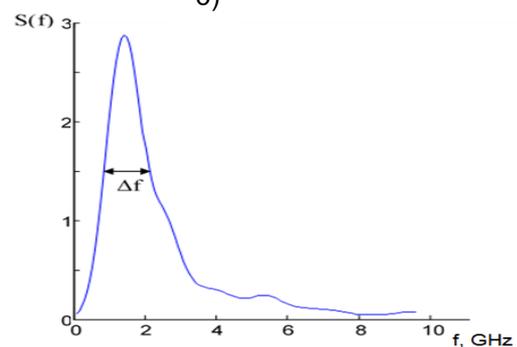
Рис.1. Вид полигона для проведения эксперимента



а)



б)



в)

Рис.2. Внешний вид георадара «Герад-2200» (а), форма его излучаемого сигнала (б) и спектра (в)

Сверхширокополосный сигнал георадара состоит из одного периода колебаний (расстояние между минимумами 0.5 нс), длительность импульса порядка 1 нс. Рабочая полоса частот лежит в районе от 1.5 до 2.5 ГГц, ширина спектра $\Delta f = 1$ ГГц. Потребляемая мощность менее 150 мВт, выходная мощность -45 дБм/МГц.

Внешний вид лазерного дальномера представлен на Рис.3. Он имеет следующие характеристики: точность измерения расстояний 1-10 мм, дальность действия до 500 м, диапазон длин волн – видимый или инфракрасный (ИК), мощность светового излучения в видимом диапазоне ~ 10 мВт, в безопасном для глаз ИК диапазоне 1550 нм ~ 500 мВт, потребляемая мощность ~ 15 Вт.



Рис.3. Внешний вид лазерного дальномера

Измерения проводились с высоты 1000 мм над поверхностью грунта. На рис.4 представлена радарограмма полученная после обработки георадиолокационных данных. Выше над радарограммой изображены данные, полученные лазерным дальномером. Контрольные измерения, произведенные мерной линейкой в наиболее характерных точках полигона, подтвердили достоверность полученных результатов. Существенные расхождения результатов измерений вызваны особенностями используемых приборов. Пространственное разрешение лазерного дальномера составляет 1-3 см, а георадара – десятки сантиметров, поэтому локальные пики измеренные дальномером более точные и имеют большее значение, в то время как георадар усреднил высоты на данном участке. Наиболее отчетливо это видно на правой половине рис.4, где сравнительно высокие участки снега с резкими перепадами высоты перемежались с провалами. Зеленым цветом на рисунке показан рельеф местности (уровень Земли), синим – уровень снега. Желтым цветом отображены результаты измерения лазерным дальномером в масштабе 1:2 по высоте. Видно, что расхождение результатов по толщине снега, полученных с помощью только георадара и георадара совместно с дальномером, может составлять до ~10 см и это, как уже было упомянуто, происходит в основном из-за несовпадения ширины диаграммы направленности антенн георадара и дальномера. В то же время отражение радиоволн от поверхности Земли дает достаточно отчетливую реперную линию рельефа земной поверхности, а лазерный

дальномер с хорошей разрешающей способностью по пространству точно определяет высоту снежного покрова. Дальнейшее повышение точности измерений может быть получено путем оптимизации параметров аппаратуры для решения конкретных задач, а также совершенствования методики обработки получаемых данных.

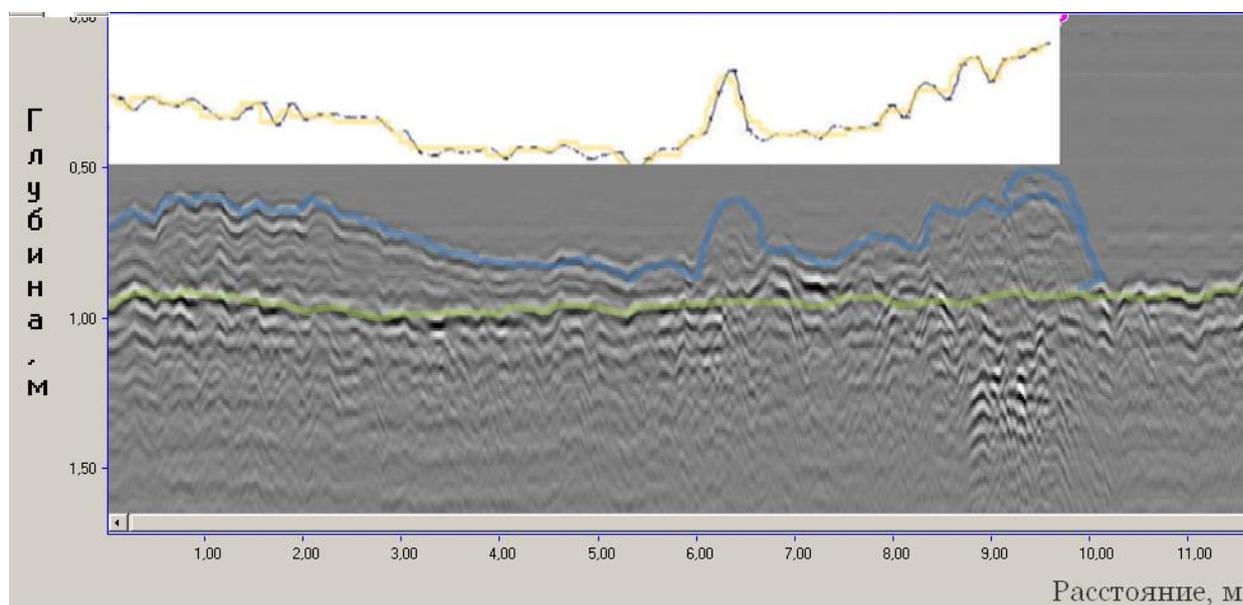


Рис.4. Сопоставление результатов экспериментов

Выводы

Таким образом, в результате работы были получены данные по определению высоты снежного покрова на участке ~10 метров с помощью георадара и лазерного дальномера. На наш взгляд, этот метод дает более точные данные по определению высоты снежного покрова, чем при использовании только одного георадара. Точность определения составляет ~10 см и может быть улучшена до 3-5 см усовершенствованием аппаратуры и методики обработки получаемых данных. Особенно перспективным, на наш взгляд, является применение описанного метода при размещении аппаратуры на борту летательных аппаратов, позволяющего проводить обследование больших площадей за достаточно короткий промежуток времени.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Литература

1. В. М. Котляков, Ю. Я. Мачерет, А. В. Сосновский, А. Ф. Глазовский Скорость распространения радиоволн в сухом и влажном снежном покрове // «Лед и снег» Том 57, № 1 (2017), СС.45-56.
2. Мусьяков М.П., Миценко И.Д., Ванеев Г.Г. Проблемы ближней лазерной локации. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 295с.
3. Финкельштейн М.И., Лазарев Э.И., Чижов А.Н. Радиолокационные аэроледомерные съемки рек, озер, водохранилищ. //Л.: Гидрометеиздат, 1984.
4. Финкельштейн М.И., Кутев В.А. О зондировании морского льда при помощи последовательности видеоимпульсов. //Радиотехника и электроника, 1972, т.17, №10, с.2107.
5. Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.А. Применение радиолокации для изучения строения и режима ледников. // Тезисы доклада, Москва, МГУ, 15-19 мая, 2000, с.56.
6. Способ измерения толщины снежного покрова Патент Р Ф. № 2 262 718, G01S 13/95 (2006.01).

7. Рудаменко Р. А., Марчук В. Н., Бажанов А. С., Арнаутов Ю. В., Местертон А. П. Анализ результатов полевых испытаний аналога высокочастотного георадара для радиолокационного комплекса лунохода // Труды конференции РРВ–26, 1–6 июля 2019, Казань, т.2. с. 320-323.