

Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - Муром 2021

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

В.Н. Марчук, В.И. Григорьевский

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Российская Федерация, 141190 Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1
E-mail: marchuk_vn@mail.ru, vig248@ire216.msk.su*

В работе представлены данные по определению высоты снежного покрова на участке с ровным рельефом местности. с помощью георадара и лазерного дальномера. Показано, что георадар определяет высоту снежного покрова с точностью 10-15 см даже в местах под растительностью, однако на участках с резкими перепадами уровня снега погрешность может составлять ~ 1 м из-за широкой диаграммы направленности антенны. Лазерный дальномер не пригоден для измерения высот снежного покрова под растительностью, однако хорошо определяет локальные максимумы и минимумы, что может существенно дополнить данные георадара при выявлении критических зон. Для поверхностей, которые имеют небольшой участок свободный от снега, возможно определять высоту снежного покрова с точностью лазерного дальномера ~1 см. Достаточно, чтобы поверхность была свободна от растительности. Такому критерию удовлетворяют, например поверхности крыши крупных сооружений, например аквапарков. При использовании лишь одного георадара резкие перепады уровня снега усредняются и возможны неточности в измерениях на локальных участках. При использовании обоих приборов возможна точность определения снежного покрова ~10-15 см на поверхностях с растительностью и ~ 1 см без растительности, что является основанием для совместного использования приборов.

Ключевые слова: георадар, лазерный, дальномер, снег, точность

Results of an experiment to determine the thickness of the snow cover using a GPR and a laser rangefinder

V.N. Marchuk, V.I. Grigorievsky

*Fryazino Branch of the Institute of Radio Engineering and Electronics. V.A. Kotelnikov RAS,
Russian Federation, 141190 Fryazino, Moscow region, pl. Vvedensky, 1*

The paper presents data on determining the height of the snow cover in an area with flat terrain. using GPR and laser rangefinder. It is shown that the ground penetrating radar determines the height of the snow cover with an accuracy of 10-15 cm even in places under vegetation, however, in areas with sharp drops in the snow level, the error can be ~ 1 m due to the wide directional pattern of the antenna. A laser rangefinder is not suitable for measuring the heights of snow cover under vegetation, but it is good at identifying local maxima and minima, which can significantly supplement the GPR data in identifying critical zones. For surfaces that have a small area free from snow, it is possible to determine the height of the snow cover with a laser rangefinder accuracy of ~ 1 cm. It is enough that the surface is free of vegetation. This criterion is met, for example, the roof surfaces of large structures, such as water parks. When using only one GPR, sharp snow peaks are averaged and inaccuracies in measurements at local sites are possible. When using both devices, it is possible to determine the snow cover with an accuracy of ~ 10-15 cm on surfaces with vegetation and ~ 1 cm without vegetation, which is the basis for the use of such devices.

Keywords: ground penetrating radar, laser, rangefinder, snow, accuracy

Определение толщины снежного покрова на обширных площадях бесконтактным дистанционным методом, до сих пор считается актуальной задачей в связи с рядом факторов, а именно: предотвращение обрушения крыш в супермаркетах и аквапарках, определение степени опасности весенних паводков, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, для предотвращения опасности схода лавин в горных местностях, для установления метеорологических законов формирования климата на определенной территории.

Способ измерения толщины снега на оптических волнах известен, например [1], однако он требует сканирования поверхности Земли как в летний, так и в зимний период при наличии реперных точек, к тому же, необходимо, чтобы изменений на поверхности Земли за межсезонный период между сканированиями было как можно меньше.

Способ измерения толщины снега на оптических и радиоволнах также известен [2], однако характеристики и какие-либо экспериментальные результаты по его осуществлению не приводятся, а частотные диапазоны зондирования указываются достаточно условно. Данный способ привлекателен своей оперативностью, поскольку за небольшой промежуток времени порядка десятка минут можно получить данные по толщине снега на достаточно большой площади.

Целью работы является получение оперативных данных по толщине снежного покрова с помощью георадара и лазерного дальномера на площади порядка 100 x 100 м, выявлению недостатков в используемой методике, а также формулировка рекомендаций по применению методики для конкретного применения.

Диэлектрическая проницаемость снега в радиодиапазоне 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. При приближении диэлектрической проницаемости к единице коэффициент отражения воздух - снег стремится к нулю, затрудняет получения точных данных георадаром. В силу этого, для уточнения положения верхней кромки снега наряду с георадаром, работающим в радиодиапазоне, обладающем стабильно высоким коэффициентом отражения от поверхности Земли и нестабильным коэффициентом отражения от поверхности снега предлагается использовать лазерный дальномер, световая несущего которого имеет коэффициент отражения от снега более ~0.7.

Для проведения эксперимента был выбран полигон между двумя крыльями здания с переменной высотой снега от 0 до ~1000 мм и с достаточно ровной поверхностью рельефа местности, рис.1. На участке, в частности растут два куста шиповника, через которые проходила трасса измерений. В центре полигона видна дорожка к зданию, на которой снега мало, а по ее краям видны большие сугробы от расчистки снега. Трасса, по которой двигался прибор, располагалась на уровне третьего этажа здания, а форма траектории движения радио-оптического измерителя определялась параболой, поскольку измеритель перемещался по тросу, натянутому между окнами здания. Был промерян только один разрез полигона, что было достаточно для определения точности измерений, выявления недостатков применяемой методики и выработки некоторых рекомендаций по ее осуществлению.



Рис.1. Вид полигона для проведения эксперимента.

Общий вид радио-оптического измерителя показан на рис.2. В качестве прибора радиолокационного зондирования использовался рабочий макет георадара «Герад 2200». Сверхширокополосный сигнал ВЧ 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.



Рис.2. Внешний вид прибора

Характеристики лазерного дальномера следующие: точность измерения расстояний ~1-10 мм, дальность действия до ~ 100 м, диапазон используемых длин волн ~700 нм (красная область спектра), мощность светового излучения ~ 15 мВт, потребляемая мощность ~ 15 Вт.

Измерения проводились с высоты ~7-10 м над поверхностью грунта. Тактовая частота замеров составляла ~2 Гц. На рис.3 представлены результаты измерений.

Высота над уровнем Земли, м

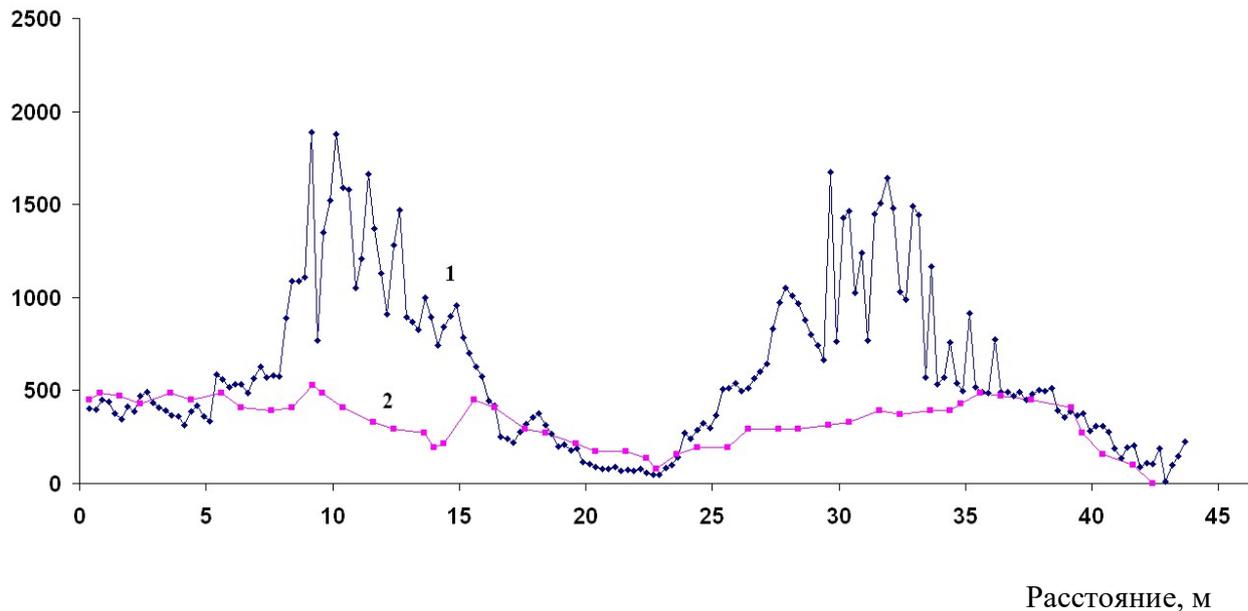


Рис.3. 1 - Высота снега, измеренная дальномером, 2 – георадаром.

Были также проведены контрольные замеры мерной линейкой в наиболее характерных точках полигона, которые подтвердили достоверность полученных результатов. Некоторые расхождения результатов измерений вызваны особенностями используемых приборов. Пространственное разрешение прибора определяется несколькими факторами: скоростью его движения по трассе, качанием прибора от ветровых и механических нагрузок, диаграммами направленности, особенностями геометрии и в нашем случае составляла ~0.1 м для лазерных измерений и ~1 м для георадарных данных. Точность измерения расстояния дальномером для данных условий составляла ~10 мм, а георадара – десятки сантиметров, поэтому локальные пики измеренные дальномером более точные и имеют большее значение, в то время как георадар усреднил высоты на участках с резкими перепадами дальности. Наиболее отчетливо это видно вблизи центральной дорожки в здании, рис.1 и рис.3, где сравнительно высокие сугробы с резкими перепадами высоты перемежались с почти нулевым уровнем на самой дорожке. Рельеф местности, измеренный георадаром (уровень Земли) был в большей степени однородным. Видно, что расхождение результатов по толщине снега, полученные с помощью георадара и дальномера, значительны в областях с растительностью. Размер пятна лазера ~0.5-1 см не позволил точно промерить высоту снега дальномером под кустами шиповника, рис.3. Лазерное пятно попадало на ветки кустарника, высота отражения в этих точках хаотична и это видно как на правом, так и на левом от центральной дорожки участках трассы, рис.3, где случайным образом меняется высота отражения лазерного излучения в зависимости от попадания на ветки кустов шиповника. В то же время высота снега в этих областях, измеренная георадаром, с точностью до ~15 см совпадает с показаниями мерной линейки. Расхождение высоты снежного покрова по трассе в локальных местах, измеренной

георадаром, с дальномерными данными может составлять ~1 м и это основной аргумент в пользу дополнения георадарных данных данными дальномерных измерений. Несмотря на указанные расхождения, были выявлены характерные особенности снежного покрова на трассе измерений. Например, определено, что высота снега существенно выше на северной стороне здания (левая часть рис.3), чем на южной стороне (правая часть рис.3), где толщина снега стремится к нулю. Это, естественно, коррелирует со временем солнечного облучения снежного покрова на обоих участках полигона.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Георадар определяет высоту снежного покрова с точностью ~10-15 см на выбранном полигоне даже в местах с растительностью. Исключения составляют лишь небольшие участки с высокими перепадами снега, где диаграмма направленности усредняет пики и впадины с погрешностью ~ 1 м.
2. Лазерный дальномер в используемом исполнении с узкой диаграммой направленности совершенно не пригоден для измерения высоты снежного покрова под ветками растительности, однако точно определяет локальные максимумы и минимумы, что может существенно дополнить данные георадара при выявлении критических зон обследуемого полигона.
3. Для ровных участков поверхностей с небольшим ровным участком, свободным от снега, определяющий уровень Земли, возможно определять уровень снега с точностью лазерного дальномера. Достаточно, чтобы обследуемый участок был свободен от растительности. Такому критерию удовлетворяют, например, поверхности крыш крупных сооружений, например аквапарков. При использовании лишь одного георадара резкие пики снега усредняются и возможны неточности в прогнозе высоты снега на локальных участках.
4. При использовании обоих приборов возможна точность определения снежного покрова с точностью лазерного дальномера ~ 1 см на участках без растительности и с точностью 10-15 см на участках с растительностью, что является основанием для их совместного практического применения.

Работа выполнена в рамках государственного задания.

Литература

1. Способ дистанционного определения толщины снежного покрова в лавинных очагах. Патент Р Ф. № 2 454651С1, G01N 3/00, 2011 г.
2. Способ измерения толщины снежного покрова. Патент Р Ф. № 2 262 718, G01S 13/95, 2006 г.