

ЛАЗЕРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭФФЕКТЕ ДОПЛЕРА

А. А. Джаббаров

ВВЕДЕНИЕ

Принцип определения профиля заключается в непрерывном измерении и записи высоты полета при передвижении летательного средства над местностью. Для повышения точности определения профиля земной поверхности при измерениях с летательного средства в случае отклонения летательного средства от строго горизонтальной линии полета используется измерение не высоты полета, а доплеровского сдвига частоты отраженного от поверхности излучения, по значению которого восстанавливается полный профиль поверхности вдоль линии движения [1].

ПРИНЦИП РАБОТЫ

Функциональная схема измерителя профиля, реализующего методику измерений, основанную на определении доплеровского сдвига частоты отраженного от поверхности излучения, по значению которого восстанавливается полный профиль поверхности вдоль линии движения, представлена на рис. 1, а на рис. 2 – векторные диаграммы, поясняющие его работу.

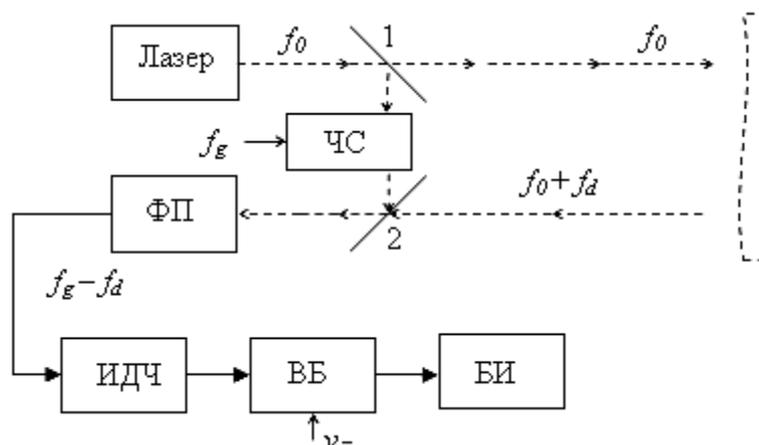


Рис. 1. Функциональная схема профилометра на эффекте Доплера:
светоделители (1, 2); устройство частотного сдвига (ЧС);
гетеродинный фотоприемник (ФП);
блок измерения доплеровского сдвига частоты (ИДЧ);
вычислительный блок (ВБ); блок индикации (БИ)

Система работает следующим образом. С летательного аппарата, передвигающегося над поверхностью Земли, от лазера перпендикулярно к

линии горизонта направляется непрерывное лазерное излучение с частотой f_0 . Светоделитель 1 выделяет часть зондирующего излучения для формирования гетеродинного сигнала, которое после прохождения блока частотного сдвига (построенного, например, с использованием акустооптического модулятора) сдвигается по частоте на f_g .

Отраженный от поверхности Земли оптический сигнал сдвигается по частоте по сравнению с зондирующим сигналом на доплеровскую частоту f_d и, проходя через светоделитель 2, совмещается с гетеродинным излучением и попадает на фотоприемник, где в результате фотогетеродинамирования выделяется разностная частота $f_g - f_d$. С выхода фотоприемника электрический сигнал попадает в блок измерения доплеровского сдвига частоты, где происходит измерение его параметров.

Из рисунка 2 видно, что профиль восстанавливается путем нахождения превышения каждой последующей точки измерения над предыдущей (h) вдоль линии перемещения летательного средства. Сдвиг частоты гетеродинного излучения на f_g необходим для определения знака доплеровского сдвига частоты f_d и, следовательно, знака h .

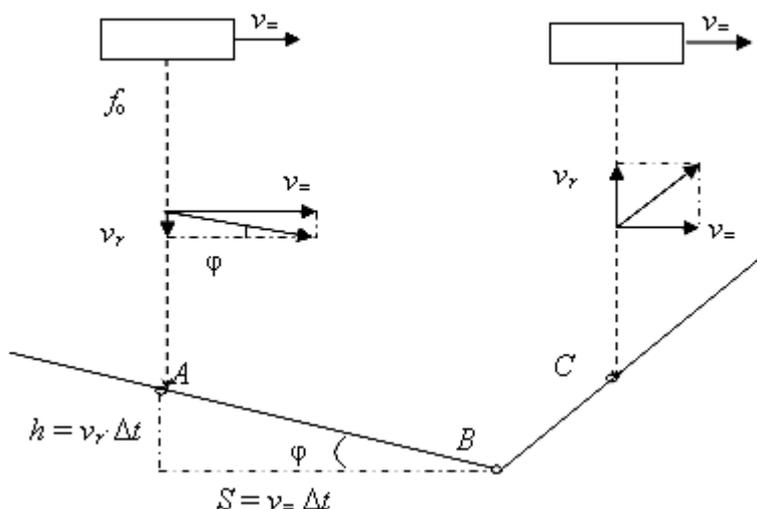


Рис. 2. Векторные диаграммы работы профилометра на эффекте Доплера

Код измеренной частоты из блока ИДЧ поступает в вычислительный блок, который производит обработку сигнала по следующему алгоритму. С учетом знания величины f_g определяется величина и знак доплеровского сдвига частоты f_d , а затем значение $v_r = c \cdot f_d / 2 \cdot f_0$, (1) где c – скорость света. Как видно из рис. 2, в зависимости от угла наклона касательной в точке падения луча к линии горизонта, знак радиальной скорости может быть как положительный (точка C), так и отрицательный (точка A). При нулевом значении v_r (точка B) касательная расположена горизонтально.

Угол φ наклона касательной в точке падения равен

$$\operatorname{tg} \varphi = v_r / v_{\pm} = h / s, \quad (2)$$

где h – превышение последующей точки измерения над предыдущей; $s = v_{\pm} \Delta t$ – расстояние по горизонтали между точками измерения; Δt – время между измерениями.

Преобразовывая (2) получаем $v_r / v_{\pm} = h / v_{\pm} \cdot \Delta t$, откуда

$$h = v_r \cdot \Delta t, \quad (3)$$

Таким образом, по значению радиальной скорости v_r происходит вычисление превышения h каждой последующей точки измерения над предыдущей, и затем, зная горизонтальную скорость передвижения летательного аппарата v_{\pm} , вычисляется расстояние между точками измерений $S = v_{\pm} \cdot \Delta t$ и воспроизводится профиль земной поверхности вдоль линии передвижения, представляемый блоком индикации.

ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

Программное приложение написано на языке C++\CLI под платформу .NET Framework 4.0. Оно позволяет восстанавливать профиль поверхности по значениям доплеровских сдвигов частоты. Также реализовано несколько примеров, позволяющих оценить погрешность по заданному функции профилю. Интерфейс программы приведен на рисунке 3. Из расчетных формул (1-3) видно, что исходными данными должны выступать набор доплеровских сдвигов частоты, время измерения, шаг, скорость летательного средства и частота лазера. Все они вводятся с клавиатуры. Набор доплеровских частот может быть заполнен случайно. По формуле (1) определяется радиальная скорость, по формуле (3) – превышение последующей точки измерения над предыдущей. Найдя значения h для всех точек, программа восстанавливает профиль поверхности.

Чтобы проверить правильность вычислений, для каждой просканированной точки предусмотрен вывод доплеровских частот и соответствующих значений высот, которые находятся как сумма предыдущего значения высоты и рассчитанного по формуле (3) h . Начальная высота подбирается такой, чтобы не получить отрицательные высоты в других точках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработано программное приложение, моделирующее работу измерителя. Оно позволяет восстанавливать профиль поверхности по значениям доплеровских сдвигов частоты. С клавиатуры вводятся частота ла-

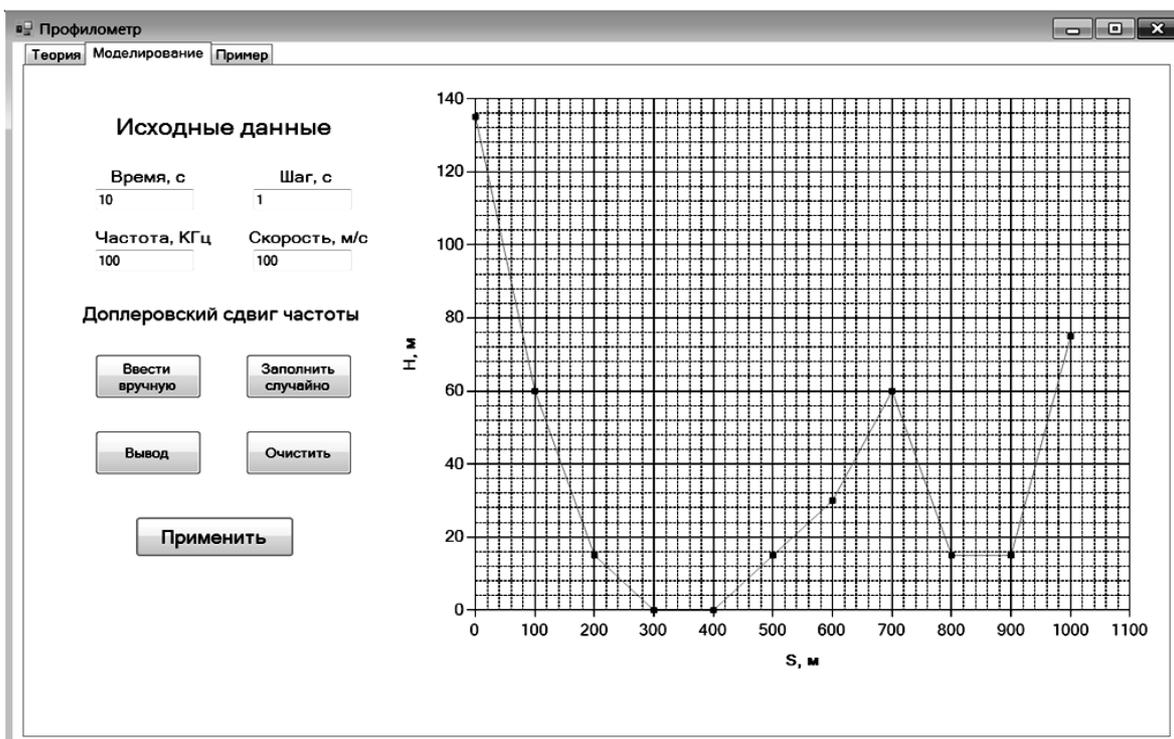


Рис. 3. Интерфейс программы, моделирующей работу измерителя профиля на эффекте Доплера

зера, время между измерениями и скорость летательного средства. Оценена погрешность восстановленного профиля. Если профиль задан функцией $\sin t + 2/5 \cdot \sin 5t$, то при скорости 100 м/с и шаге 0,5 с погрешность восстановления профиля составит 60 см. Если шаг уменьшить до 0,1 с, то максимальная погрешность составит приблизительно 10 см. При уменьшении шага до 0,05 с, погрешность равна 5 см.

Из алгоритма работы профилометра следует, что в расчетные соотношения не входит высота полета летательного аппарата, т. е. погрешность измерений не зависит от стабильности поддержания высоты полета, а определяется лишь разрешением по частоте блока измерения частоты доплеровского сигнала.

Литература

1. Козлов В. Л. Способ измерения профиля земной поверхности посредством лазера / Патент РБ № 12471 30.10.2009.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ НА ОПОРНЫХ ВЕКТОРАХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

П. Е. Ковалец

В настоящее время в задачах обработки звуковых сигналов используются довольно сложные алгоритмы анализа данных. Одной из акту-