**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Национальный исследовательский**

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

Кафедра общей физики

Направление 03.03.03 «Радиофизика»

Профиль «Фундаментальная радиофизика»

Отчет по производственной практике

**(**ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА**)**

Восстановление параметров морской поверхности по данным радиовысотомера Jason-3

Научный руководитель,   
профессор, д.ф.–м.н. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Бакунов М.И.

Студент 4-го курса \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Понур К.А.

Нижний Новгород

2020 год

Давно получена аналитичекская аналитическая формула для сигнала на приемнике радилокатора, отраженного от взволнованной морской поверхности

(1)

в которых

– малое отклонение антенны от надира, – ширина диаграммы направленности антенны на уровне , – высота радиолокатора над поверхностью земли, – скорость света в вакууме, – дисперсия высот взволнованной морской поверхности.

### 3.4 Восстановление параметров морской поверхности.

Зная зависимость принятого сигнала от параметров взволнованной морской поверхности, мы можем восстанавливать их по форме импульса. Это можно сделать, аппроксимируя форму импульса теоретической формулой и вычисляя из получившейся функции необходимые коэффициенты.

Однако решать подобную задачу для формулы (1) довольно сложно из-за сложной зависимости восстанавливаемых параметров и в их большом количестве. Это может приводить к большим вычислительным ошибкам даже при большом соотношении сигнал-шум.

Figure 38: Качественная форма импульса с обозначением основных параметров.

Поэтому для решения задачи ретрекинга предлагается, использовать менее физичную, но более наглядную запись формулы (68)

(2)

– коэффициент наклона заднего фронта импульса, – эпоха, – ширина переднего фронта импульса,

**Поиск наклона заднего фронта**

Формула (2), хороша тем, что можно найти некоторые коэффициенты, не прибегая к сложным методам оптимизации. После прохождения пика импульса, функция ошибок становится медленно меняющейся функцией и можно записать приближенное равенство

где – ордината пика импульса.

Логарифмируя (76)

мы получаем линейную функцию времени. Значит, построив логарифм формы импульса при и найдя коэффициент наклона получившейся прямой мы можем найти наклон заднего фронта .

**Поиск ширины переднего фронта**

Как видно из рис.40, при функция ошибок ведет себя быстрее экспоненты, а значит можно написать приближенное равенство

Аппроксимируя импульс при формулой (78) мы получим оценку коэффициентов .

Имея оценки параметров аппроксимации по различным участкам функции мы можем использовать формулу (75) для всего импульса

с начальными условиями для параметров , полученных на предыдущих этапах.

**Восстановление параметров поверхности**

Не сложно найти связь коэффициентов в формуле (1) и (2):

(3)

Из соотношений (3) восстанавливается значение дисперсии высот (высоты значительного волнения). Из амплитуды импульса мы можем узнать сечение обратного рассеяния, которое с помощью различных регрессионных моделей позволяет оценить скорость приводного ветра.

### 3.5 Восстановление параметров модельных поверхностей

Чтобы оценить насколько точно работает выбранный нами алгоритм восстановления параметров поверхности в реальных условиях, смоделируем морскую поверхность с известными параметрами такими как: скорость приводного ветра, дисперсия высот, дисперсия наклонов и применим алгоритм ретрекинга к этой поверхности. Так мы сможем получить необходимые сведения о стабильности и точности алгоритма восстановления и внести в него корректировки, если это будет необходимо.

Для получения импульса с соотношением сигнал/шум таким же, как у качественного трека с радиовысотомера требуется просуммировать отраженную мощность от нескольких миллионов зеркальных точек, что требует длительного времени вычислений.

На рис. 1 представлены отраженные от модельных поверхностей импульсы при разных скоростях ветра. Для получения качественного отраженного импульса потребовалось около зеркальных точек.

Применяя к импульсам на рис. 1 алгоритм ретрекинга, получаем следующие восстановленные параметры:

Табл. 1: Восстановление высоты значительного волнения для модельных поверхностей с известной высотой значительного волнения для импульсов с рис. 41.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| , м |  |  |  |
| м |  |  |  |

где – высота значительного волнения, известная из моделирования поверхности, – высота значительного волнения, полученная по форме отраженного импульса. Высота значительного волнения вычисляется априорно исходя из дисперсии высот моделируемой поверхности

Сразу стоит оговориться, что в точность измерений высоты значительного волнения определяется в первую очередь временнм разрешением приемной антенны радиолокатора. Это означает, что при малой длительности переднего фронта отраженного импульса (малой высоте значительного волнения) абсолютная ошибка может достигать 40 см, при высоте значительного волнения в 80 см.

С ростом высоты волнения длительность импульса нелинейно увеличивается и уже при высоте волнения в 1 м ошибка будет гораздо меньше и составлять 10 % от величины волнения.



Рис. 1: Отраженный импульс от моделируемых морских поверхностей при разных скоростях ветра (a) для спутника находящегося на высоте в 1000 км над уровнем моря, длительности импульса нс и частоты дискретизации антенны 1 нс

### 3.6 Восстановление параметров морской поверхности поверхности по данным радиовысотомера

Теперь применим алгоритм ретрекинга к реальным данным и восстановим высоту значительного волнения по данным радиовысотомера космической миссии Jason-3.

Данные находятся в открытом доступе на сайте Национального Центра Океанографических данных (https://data.nodc.noaa.gov/jason3/gdr).

Данные представлены как в необработанном виде, поэтому перед процедурой ретрекинга необходимо усреднить полученные импульсы, а также учесть траекторию спутника и не проводить вычисления для тех данных, где отсутствовала морская поверхность.

На рис. 2 представлены обработанные формы импульсов.



Figure 2: Форма отраженного импульса в зависимости от времени, полученного с радиовысотомера космической миссии Jason-3.

По импульсам с рис. 2 мы можем восстановить значение высоты значительного волнения. В табл. 2 приведены результаты работы предложенного алгоритма в сравнении с результатами работы штатного алгоритма MLE3. Для накопления статистических данных, один из треков космической лаборатории Jason-3 был обработан полностью и для каждой доступной координаты была вычислена высота значительного волнения.



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| , м |  |  |  |
| м |  |  |  |

Табл. 1: Сравнение работы штатного алгоритма для Jason-3 и предложеного в разделе 3.4 алгоритма для импульсов на рис.1.

По оценкам, полученным из табл. 2 и табл. 1, а также обработки данных с рис. 3. можем сделать вывод о точности восстановленных данных: модель представленной взволнованной морской поверхности хорошо симулирует реальные измерения, а значит может использоваться в проведении экспериментов по отладки радиоизмерительной аппаратуры и методов дистанционного зондирования. При этом в численном эксперимента мы можем с легкостью менять частоту дискретизации приемной антенны, длину волны, высоту полета спутника и его угол зондирования и таким образом находить оптимальную схему измерений для каждой конкретной задачи.