

СИНХРОННЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖЕННОГО ВЗВОЛНОВАННОЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ



Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород, Россия

Титченко Ю.А., Байдаков Г.А., Зуйкова Э.М., Караев В.Ю.

1 ВВЕДЕНИЕ

В феврале 2018 года проводились синхронные радиолокационные и акустические измерения характеристик отраженного взволнованной водной поверхностью излучения в высокоскоростном ветровом канале Большого термостратифицированного опытного бассейна ИПФ РАН.

В данной постановке задачи исследовалась возможность измерения профиля волнения импульсным акустическим волнографом, для синхронного невозмущающего контроля профиля волнения при радиолокационных измерениях.

- Проводилось исследование особенностей формирования доплеровского спектра, отраженного акустического и радиолокационного сигнала в лабораторных условиях.
- Проводилось сравнение с моделью рассеяния для данной схемы измерений.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Тракт канала состоит из воздухозаборной части, нагнетательного насоса, воздухопроводной системы, П-образной рабочей части, установленной непосредственно в бассейне, и системы отвода воздуха.

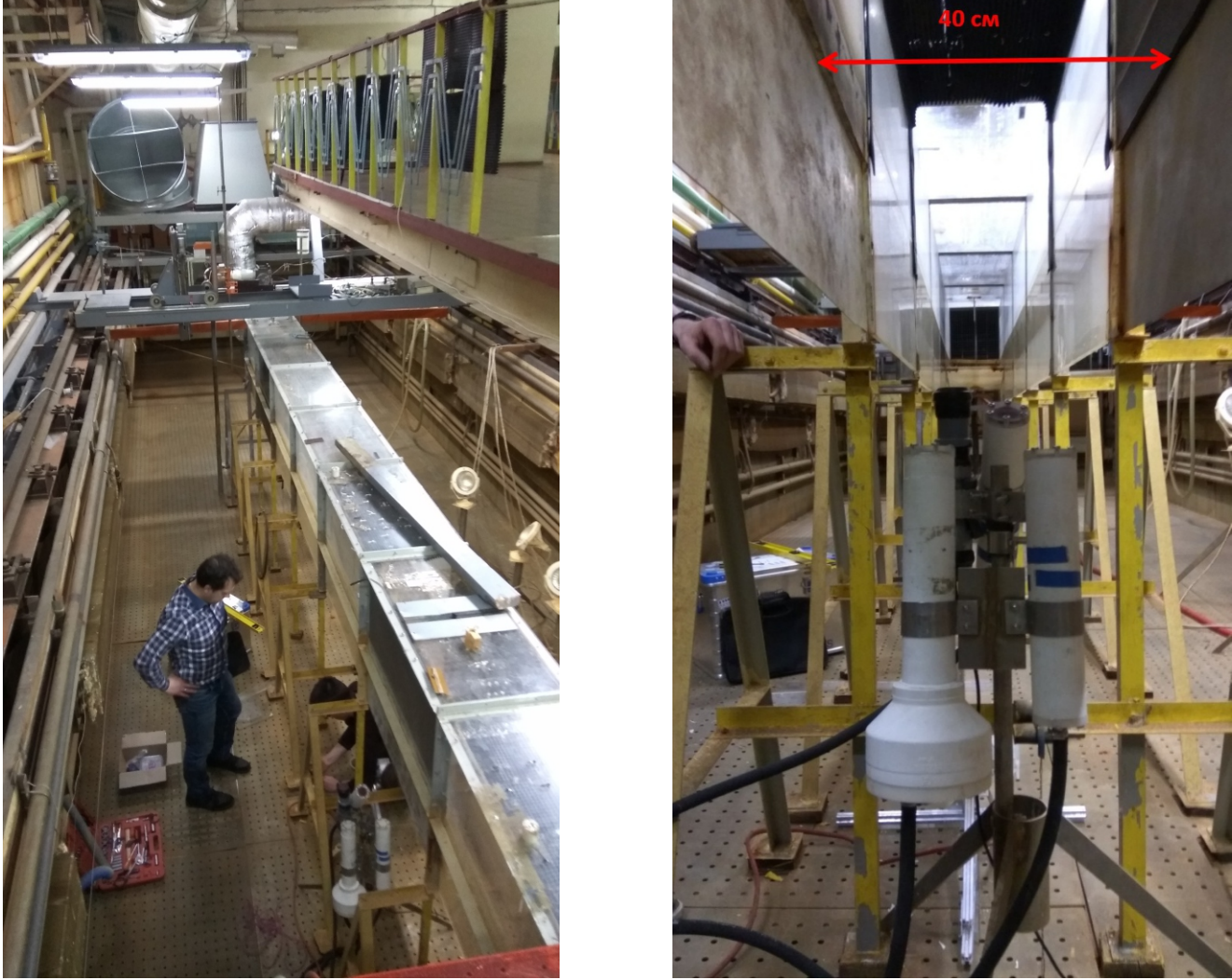


Рис. 1. Общий вид на ветро-волновой канал в момент установки гидролокаторов (без воды). Рис. 2. Внутри ветро-волнового канала с установленными гидролокаторами (без воды).

Общая длина прямой части канала составляет 10 м. Перед входом в канал дополнительно установлена расширяющая секция для выравнивания потока и уменьшения уровня турбулентных флуктуаций. Сам канал имеет П-образное сечение (крышка сверху) и установлен на вертикальные опоры. Рабочее сечение воздушного потока составляет 40×40 см, боковые стенки погружены в воду на 30 см. Каркас и стойки канала выполнены из дюралюминиевого сплава, боковые стенки и крышки – из оргстекла толщиной 10 мм и 12 мм соответственно. В конце лотка, на выходе воздушного потока установлен волногаситель – клин из мелкоячеистой сетки.

На верхней стенке канала расположены отверстия для введения в канал датчиков. В качестве датчиков могут использоваться термоанемометр, трубки Пито, струнные волнографы.

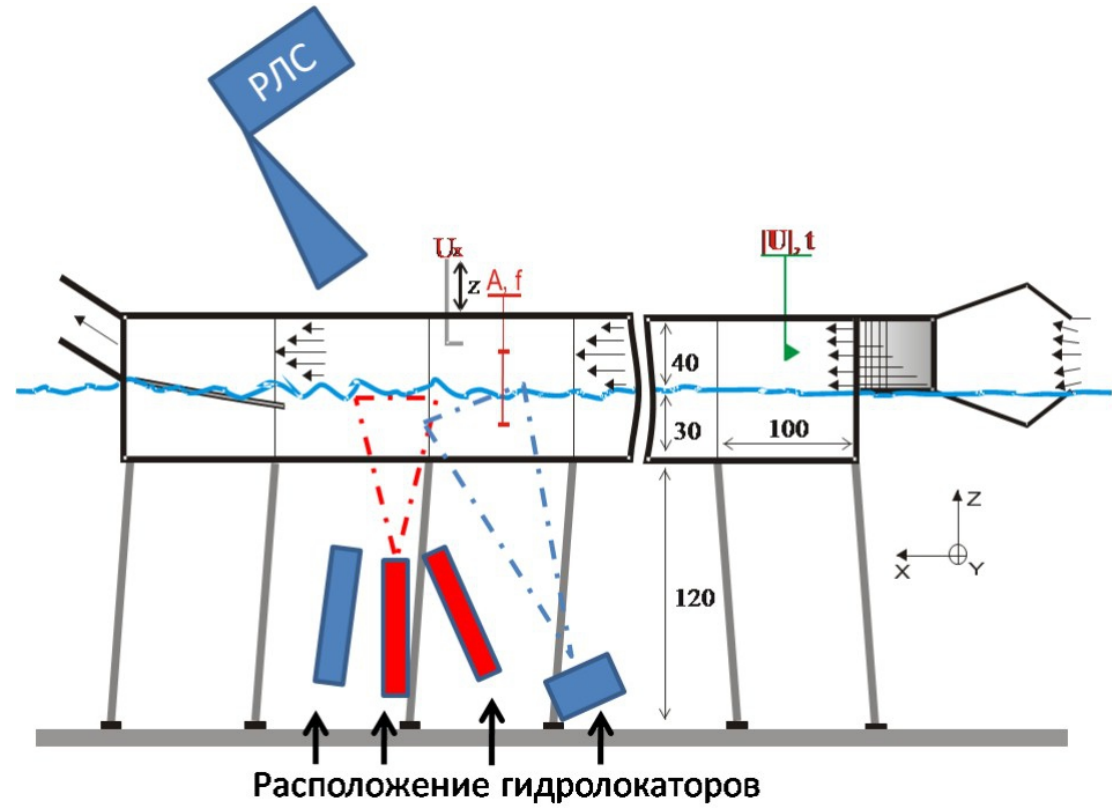


Рис. 3. Схема эксперимента на высокоскоростном ветро-волновом канале. Размеры указаны в см.

В экспериментах поверхностное волнение генерировалось с помощью управляемого волнопродуктора и/или с помощью создания ветрового потока в ветро-волновом канале эквивалентного скорости ветра на высоте 10 метров до 30 м/с. Под водой были жестко закреплены гидролокаторы с различными схемами измерений: импульсный гидролокатор ориентированный вертикально вверх, импульсный гидролокатор ориентированный вдоль распространения волнения под углом падения 30 градусов от вертикали, доплеровский гидролокатор ориентированный вдоль распространения волнения под углом падения 30 градусов от вертикали, доплеровский гидролокатор ориентированный против распространения волнения под углом падения 7 градусов от вертикали. Все акустические волнографы работали на частоте 200 кГц (длина волны 8 мм).

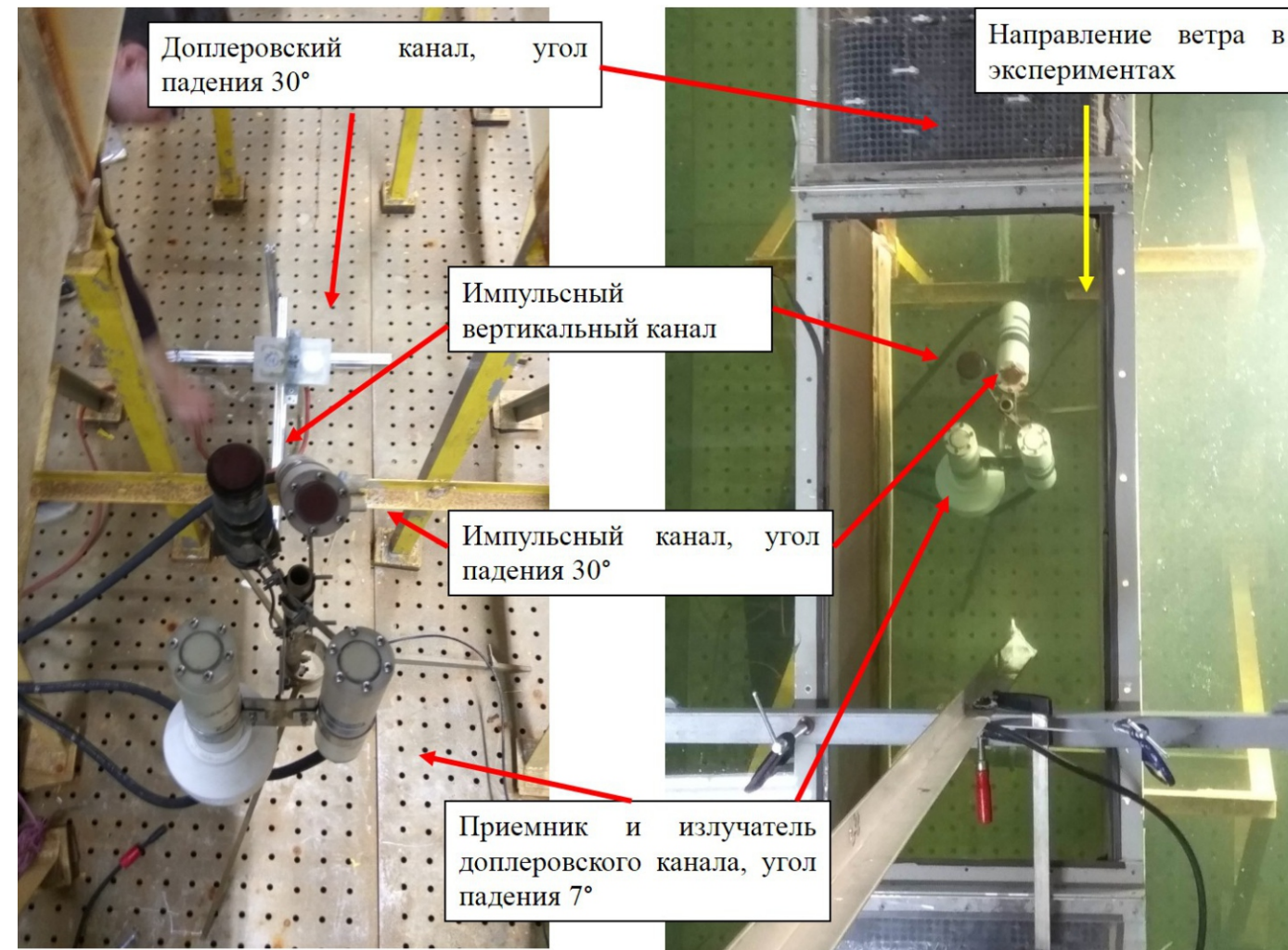


Рис. 4. Фотографии гидролокаторов в эксперименте на ветро-волновом канале во время установки с планируемого уровня воды и после заполнения бассейна.

Над водой зондирование велось 3 см (X-диапазон) доплеровским радиолокатором ориентированным против волнения под углом падения 30 градусов от вертикали позволяющим проводить одновременные мультиполяризационные (VV, HH, VH, HV) измерения.



Рис. 5. Вид сбоку на радиолокатор X-диапазона.

3 ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЯ ВОЛНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С СВЧ РАДИОЛОКАТОРОМ

Измерение дальности до отражающей поверхности по данным гидролокатора основано на анализе отраженного импульса. В данной работе дальность определялась по пику отраженного импульса.

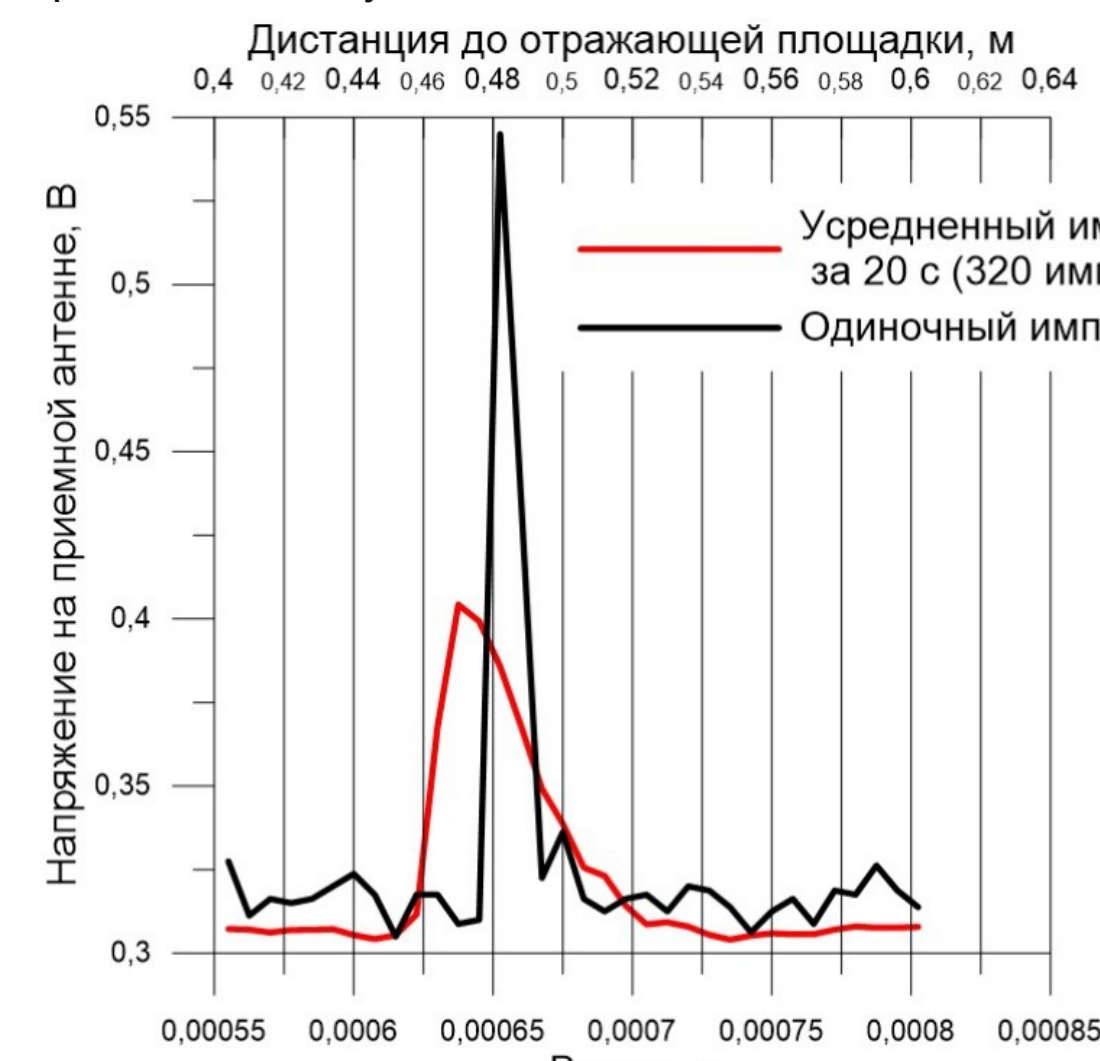


Рис. 6. Пример отраженного импульса.

Синхронная запись профиля волнения для ветрового потока в канале соответствующего скорости ветра 20 м/с на высоте 10 метров от поверхности по данным акустического и струнного волнографов. Запись струнного волнографа смещена по вертикали, так как струнный волнограф измеряет возвышения поверхности относительно невозмущенного уровня воды, а акустический волнограф записывает дальность от места излучения импульса до отражающего элемента поверхности. Таким образом, запись акустического волнографа содержит в себе дополнительно данные об уровне воды относительно положения излучения импульса. Масштаб вертикальной и горизонтальной осей не менялся.

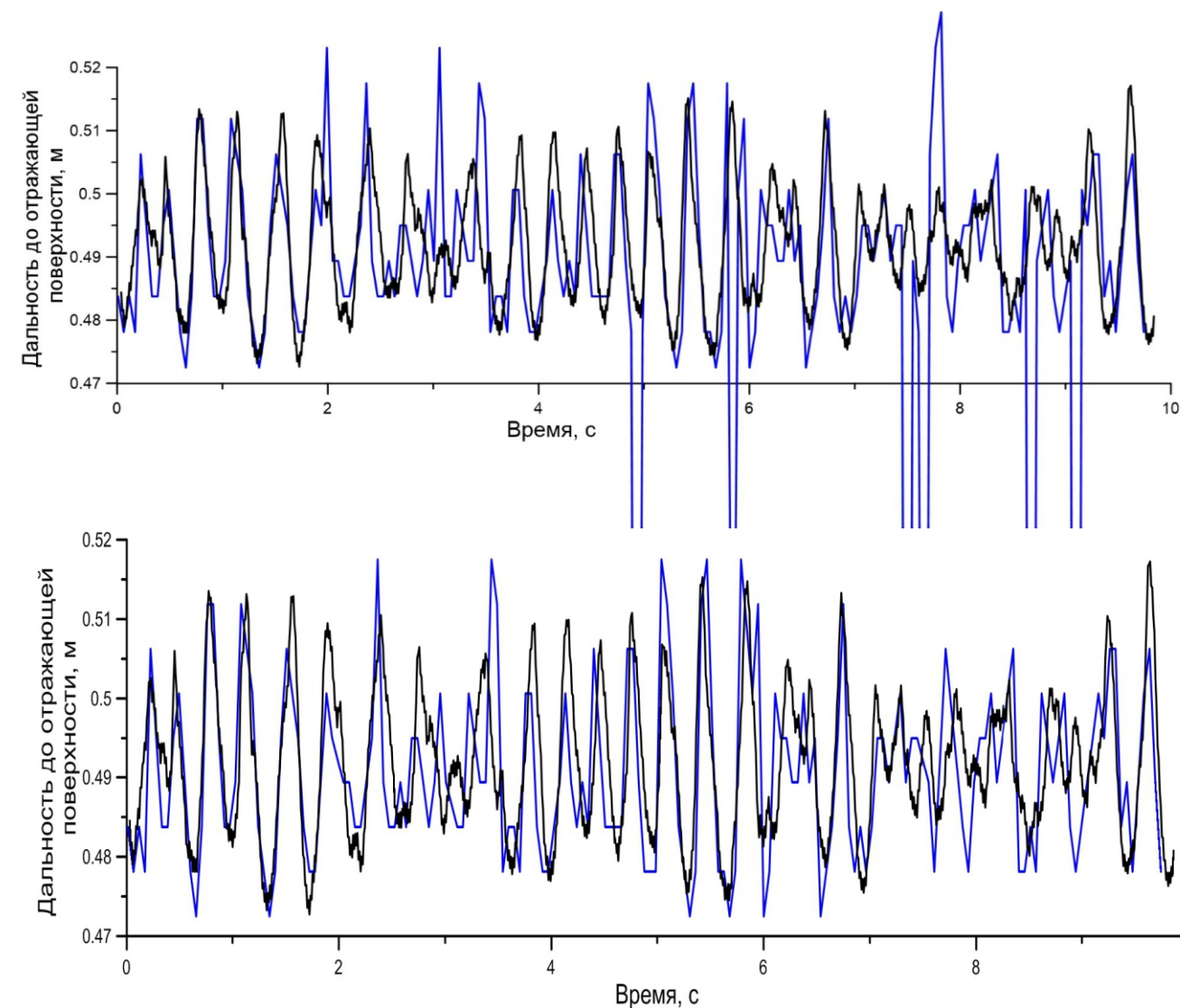


Рис. 7. Сравнение временной изменчивости профиля волнения по данным акустического (синий) и струнного (черный) волнографов. Для ветрового потока в канале соответствующего скорости ветра 20 м/с на высоте 10 метров от поверхности.

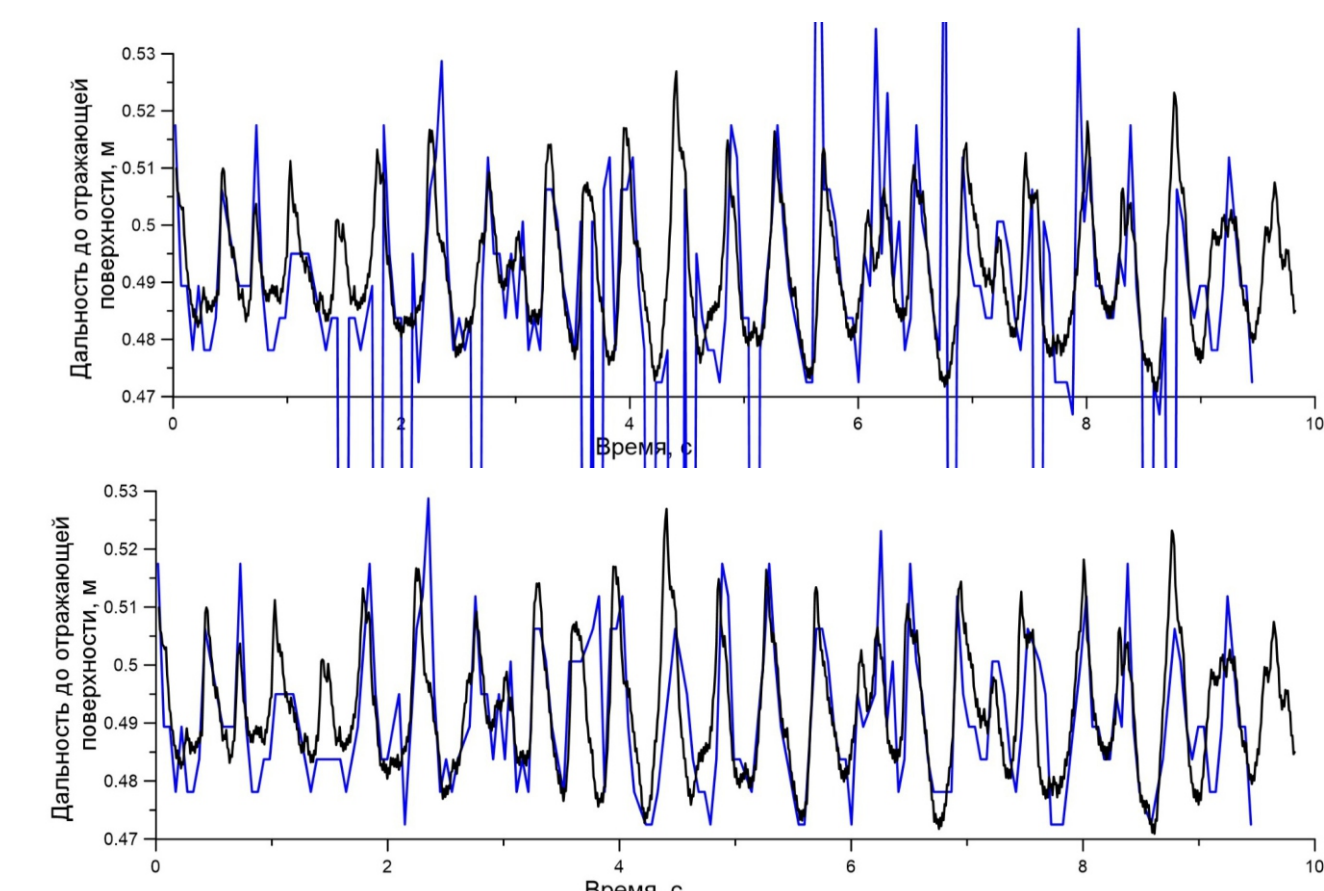


Рис. 8. Сравнение временной изменчивости профиля волнения по данным акустического (синий) и струнного (черный) волнографов. Для ветрового потока в канале соответствующего скорости ветра 25 м/с на высоте 10 метров от поверхности.

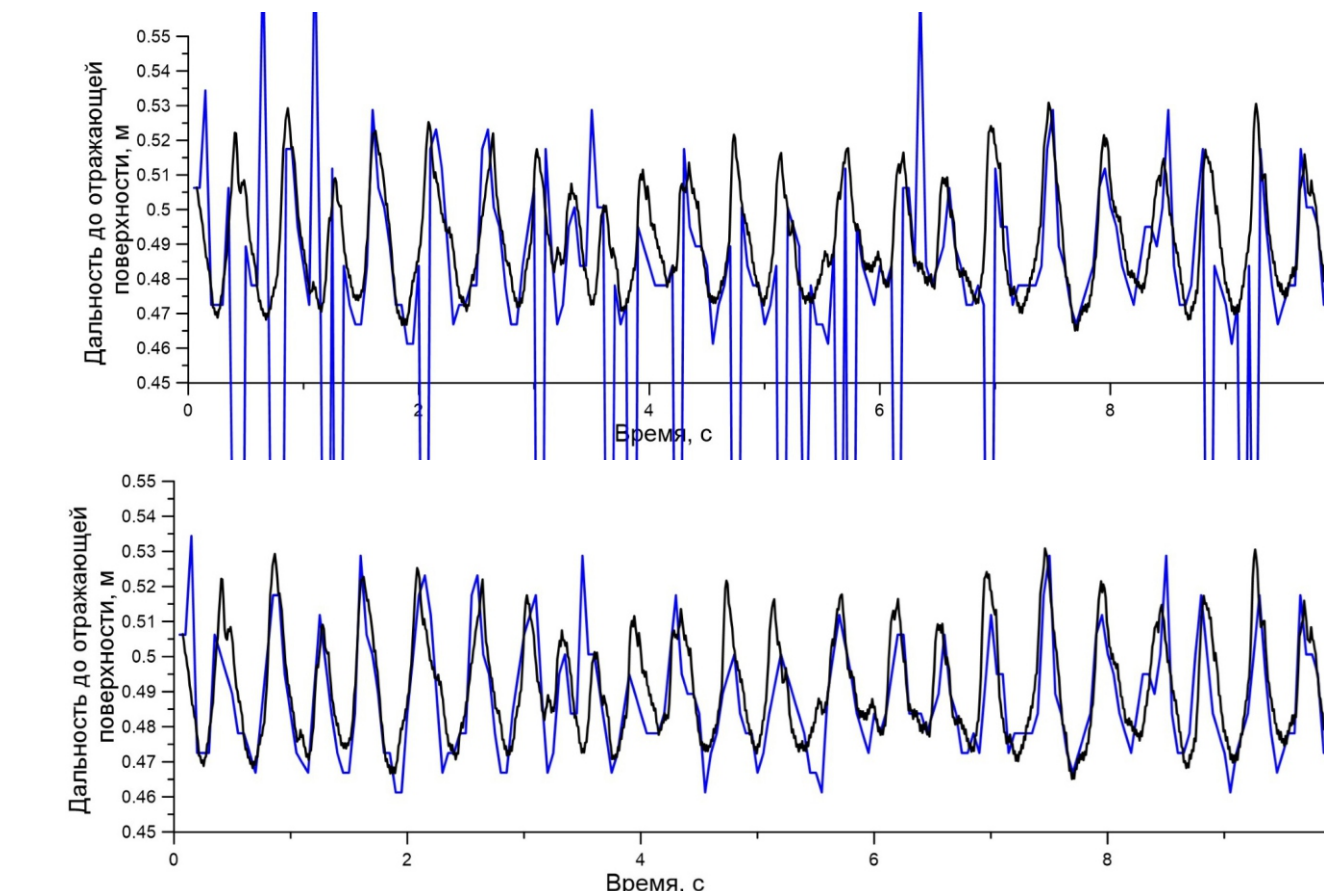


Рис. 9. Сравнение временной изменчивости профиля волнения по данным акустического (синий) и струнного (черный) волнографов. Для ветрового потока в канале соответствующего скорости ветра 31 м/с на высоте 10 метров от поверхности.

Видно хорошее совпадение измерений профиля волнения по данным струнного и акустического волнографа с широкой диаграммой направленности даже в лабораторных условиях, когда высота поверхностной волны составляет всего несколько сантиметров, а длина волны – десятка сантиметров.



Рис. 10. Пример импульса в момент выброса.

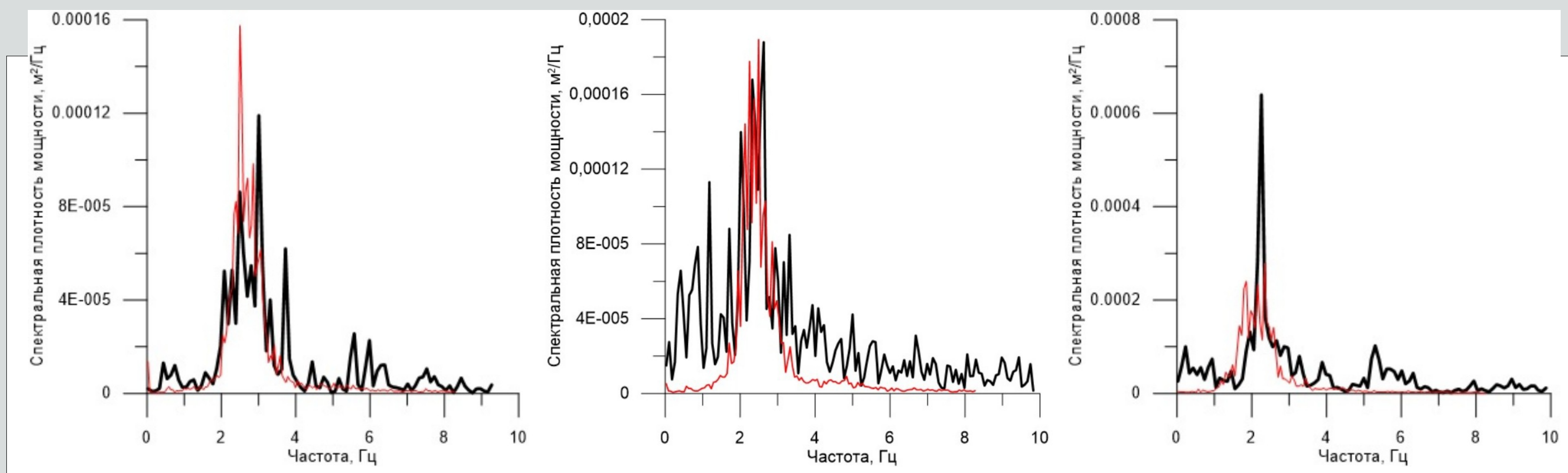


Рис. 11. Сравнение спектров по данным струнного волнографа (красная линия) и акустического волнографа (черная линия) для ветрового потока эквивалентного скорости ветра на высоте 10 м над поверхностью: слева направо - 20 м/с, 25 м/с, 31 м/с.

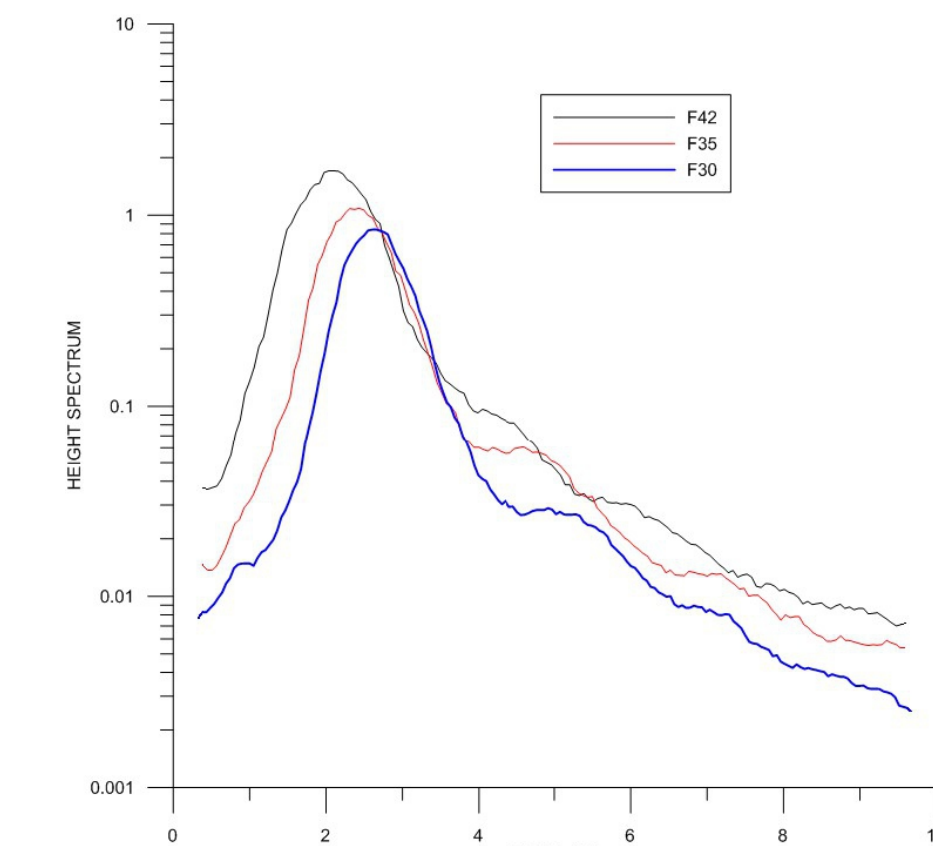


Рис. 12. Сравнение спектров по данным струнного волнографа.

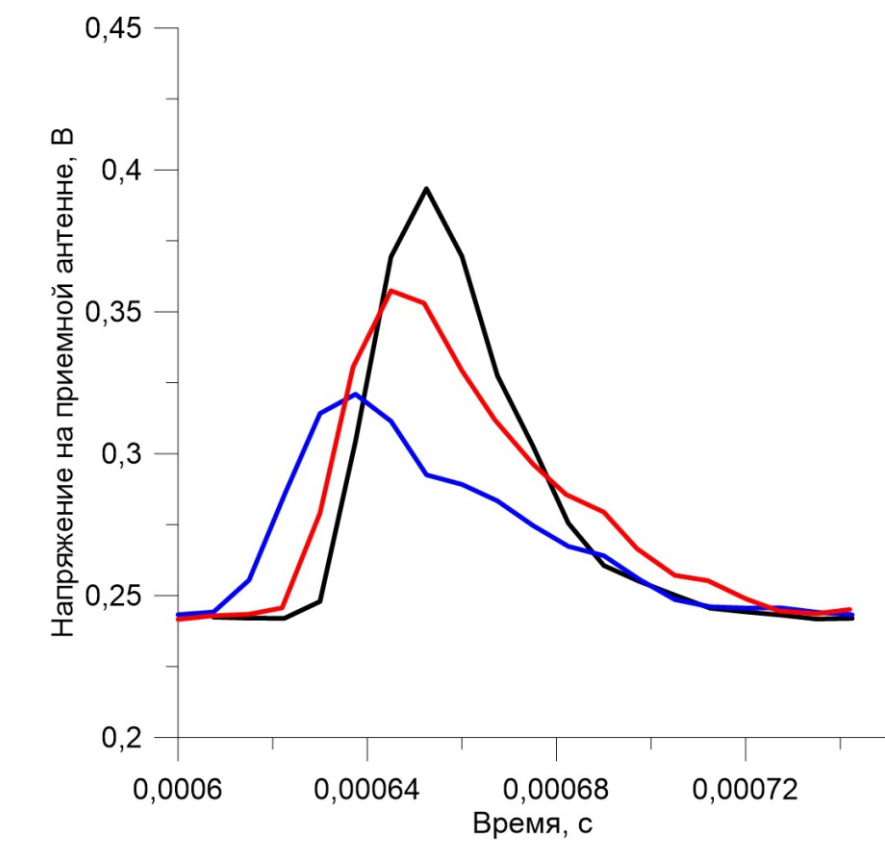


Рис. 13. Сравнение средних импульсов для разных скоростей ветра: Черный - 16 м/с, Оранжевый - 20 м/с, Красный - 25 м/с, Синий - 31 м/с.

Таблица сравнения интегральных характеристик спектра

Эквивалентная скорость ветра, м/с	СКО, см		СКО орбитальных скоростей, см/с	
	Струна	Акустика	Струна	Акустика
20	1,1	1,1	17	23
25	1,2	1,7	20	36
31	1,5	2	23	44

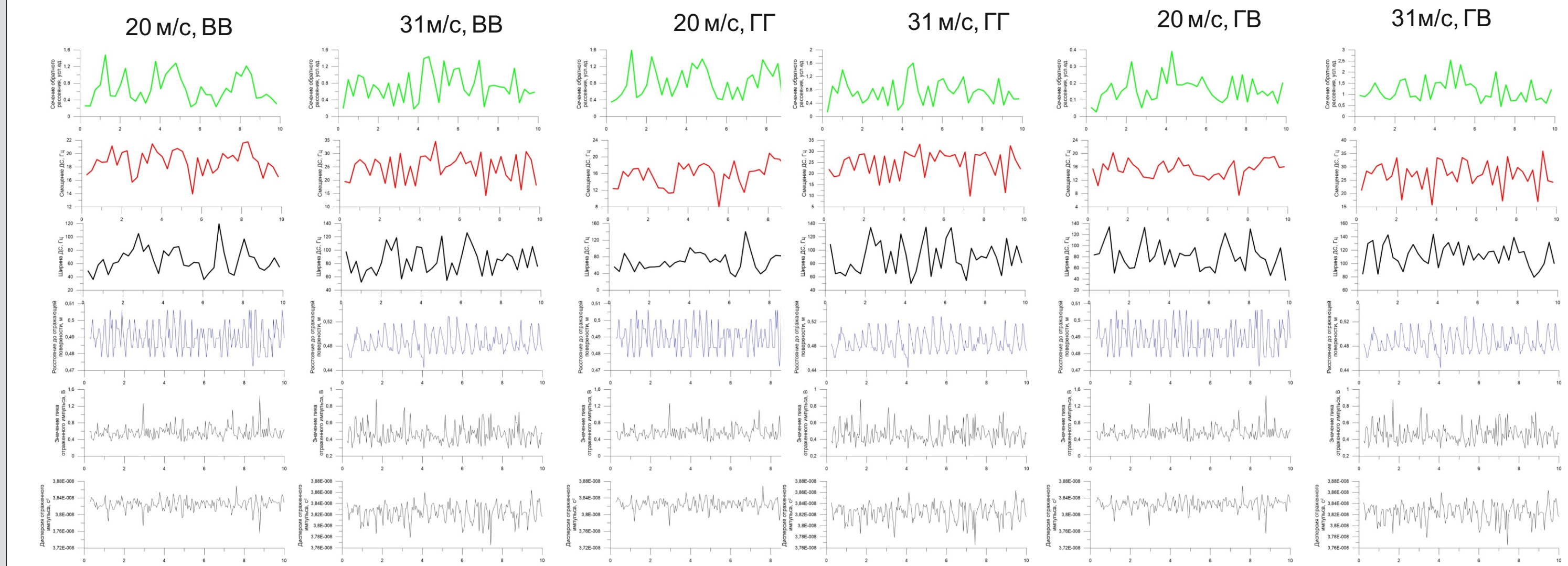


Рис. 14. Сравнение радиолокационных измерений с профилем волнения измеренным акустическим волнографом.

4 ДОПЛЕРОВСКИЙ СПЕКТР ОТРАЖЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО И РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

В рамках данной работы началось исследование особенностей формирования доплеровского спектра отраженного акустического и радиолокационного сигнала. На графиках частоты переведены в радиальные скорости для сравнения измерений сделанных локаторами с разными длинами волн излучения. Кроме того, на графиках доплеровский спектр акустического волнографа отражен относительно нулевой скорости для более удобного сравнения. Это нужно было сделать так как для радиолокатора волны бегут навстречу, а от акустического волнографа волны убегают, что приводит к смещениям доплеровских спектров с различными знаками.

На зависимостях доплеровского спектра измеренных радиолокатором виден провал в левой части по сравнению с доплеровским спектром измеренным акустическим волнографом. Это может объясняться уменьшением числа зеркально отражающих площадок (крупных по сравнению с длиной излученной волны) для радиолокатора по сравнению с акустическим волнографом, так как радиолокатор имеет большую длину волны (3,2 см против 8 мм акустической волны).

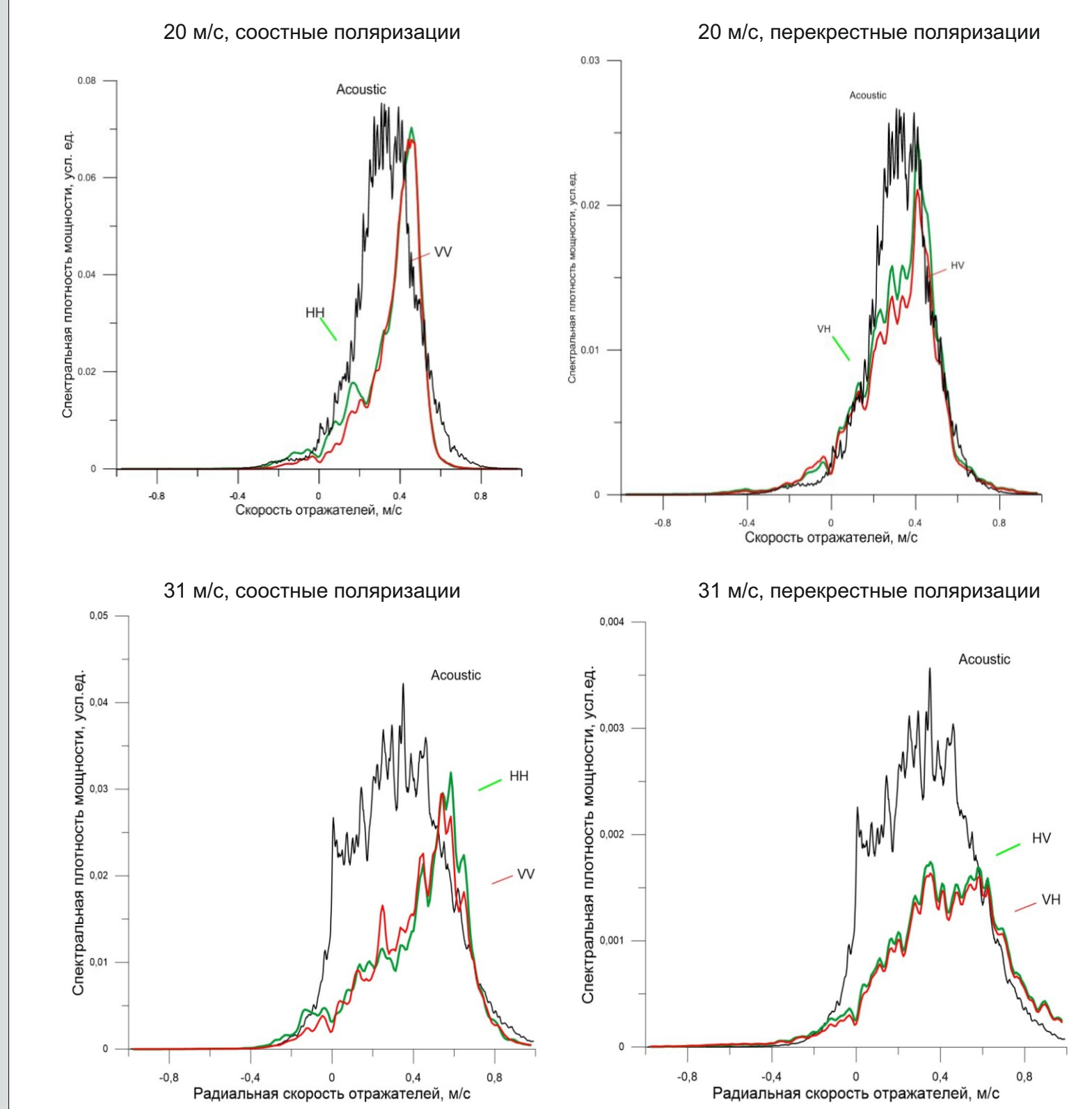


Рис. 15. Сравнение доплеровских спектров измеренных акустическим волнографом и радиолокатором на 4 поляризациях (HH, VV, HV, VH). Ветровой поток в канале соответствует скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности: 20 м/с, 31 м/с.

Сравнение измеренного доплеровского спектра с моделью резонансного [1] и зеркального [2] рассеяния показано на Рисунке. Параметры поверхностного волнения для расчета моделей определялись по измерениям струнного волнографа.

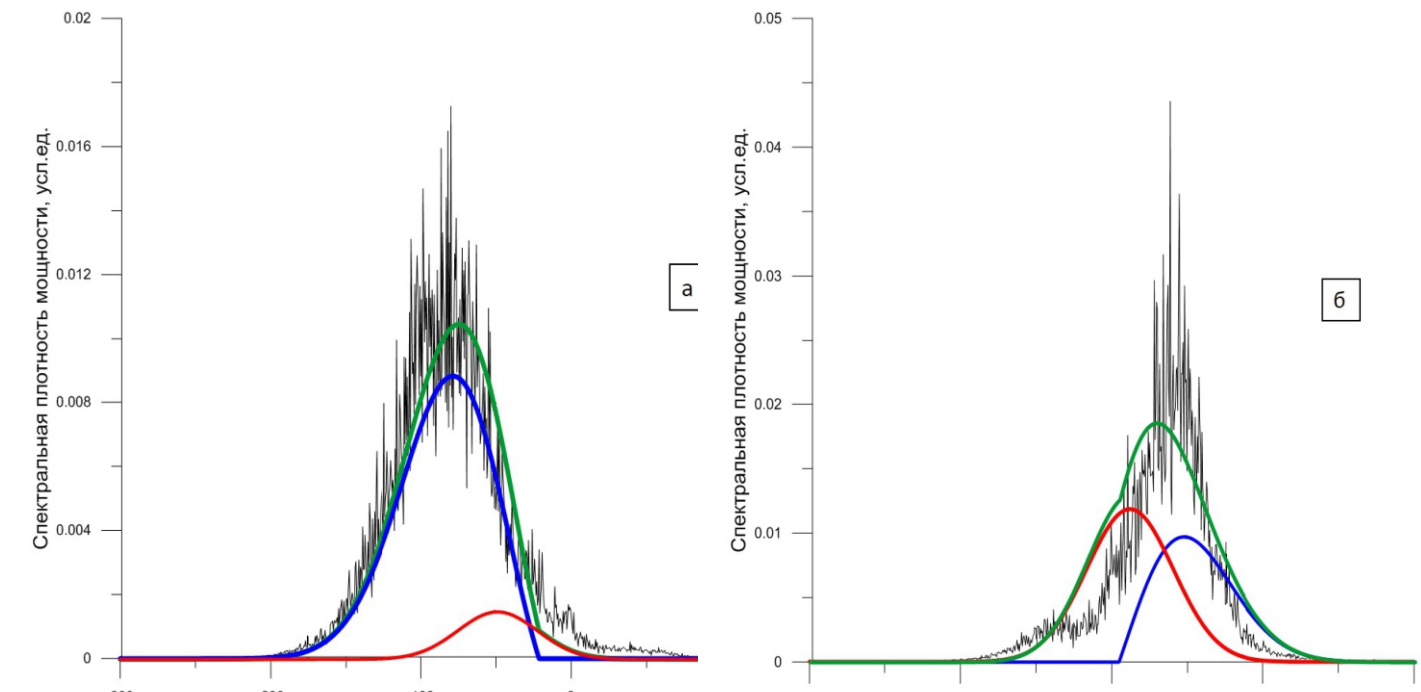


Рис. 16. Сравнение доплеровского спектра измеренного акустическим волнографом (угол падения 30° - а, 7° - б) с моделью резонансного (синий) и зеркального (красный) рассеяния. Зеленым показан суммарный спектр моделей.

- М.Б. Каневский, В.Ю. Караев, Спектр радиолокационного сигнала, отраженного морской поверхностью, Известия высших учебных заведений. Радиофизика, т.36, №1, стр. 3-15, 1993
- Титченко Ю. А., Караев В. Ю. Особенности характеристик рассеянных волн с учетом диаграмм направленности приемной и излучающей антенн при зондировании морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 2. – С. 67-84.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведены уникальные синхронные радиолокационные и акустические измерения спектральных характеристик отраженного взволнованной поверхностью излучения. При сравнении с данными струнного волнографа была подтверждена возможность импульсного гидролокатора с широкой диаграммой направленности антенны измерять профиль волнения и уровень воды даже в лабораторных условиях, когда высота волнения мала. Это может быть использовано, например, для контроля профиля волнения в экспериментах с радиолокатором без паразитных интерференций.

Проведено сравнения измеренного доплеровского спектра с моделью резонансного и зеркального рассеяния. Параметры поверхностного волнения для расчета моделей определялись по измерениям струнного волнографа.

Следует отметить, что особенности формирования доплеровского спектра в лабораторном эксперименте в значительной степени определяются спецификой волнения, генерируемого в ветро-волновом канале. Дело в том, что волнение наблюдалось при сверхкоротком разгоне, из-за чего отсутствовало крупное волнение, имеющее большую фазовую скорость. Это привело к тому, что смещение брегговской компоненты сильнее, чем зеркальной, тогда как в реальных условиях брегговская компонента смещена меньше.

При сравнении доплеровских спектров, измеренных гидролокатором и радиолокатором виден провал части спектра, измеренного радиолокатором. Это может объясняться уменьшением числа зеркально отражающих площадок (крупных по сравнению с длиной излученной волны) для радиолокатора по сравнению с акустическим волнографом, так как радиолокатор имеет большую длину волны (3,2 см против 8 мм акустической волны).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-17-10125)