

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОМЕРНЫХ БУЕВ ПУТЕМ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

© 2018 г. Д. Г. Грязин<sup>1, 2, \*</sup>, О. О. Белова<sup>1</sup>, К. А. Глеб<sup>2, 3, \*\*</sup>, М. И. Ковчин<sup>4, \*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество “Концерн “ЦНИИ “Электроприбор”, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие  
“Крыловский государственный научный центр”, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Общество с ограниченной ответственностью  
“Научно-производственное объединение Аквастандарт”, Санкт-Петербург, Россия

\*e-mail: gdg@mt.ifmo.ru

\*\*e-mail: kostya\_gleb@mail.ru

\*\*\*e-mail: akvastandart@mail.ru

Поступила в редакцию 11.11.2015 г.

После доработки 07.06.2017 г.

Предложен метод оценки точности измерения параметров волнения с помощью волномерных буюв. Приведены результаты сравнительных натурных испытаний разработанного волномерного буюа “Шторм”, буюа “Waverider” и струнного волнографа. Показано, что среднеквадратическое отклонение погрешности волномерного буюа “Шторм” не превосходит 0.1 м при волнении до 5 баллов. Проведенные исследования позволили отработать методики получения спектральных и статистических характеристик морского волнения различной интенсивности.

DOI: 10.1134/S0030157418050039

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Безаварийная работа морских нефтяных платформ на шельфах морей и океанов, портов, плантаций аквакультуры, обеспечение судоходства и решение других задач связаны с прогнозированием и оценкой текущего состояния морского волнения. Многие модели прогноза волнения основаны на информации о направлении, скорости, продолжительности действия ветра в расчетной и смежных акваториях, а также знании особенностей акватории. Отечественные прогнозы делаются без наблюдения за состоянием моря вблизи морского инженерного сооружения; удовлетворительная точность таких прогнозов может составить не более суток. Очевидно, что при наличии в необходимой акватории волномерного буюа (ВБ) ранее сделанный прогноз волнения может быть скорректирован по фактическим результатам измерений параметров волн, что приведет к повышению его точности на более продолжительный срок. В настоящее время заинтересованные компании и организации, помимо отечественных прогнозов, пользуются данными мировых средств наблюдений, однако и в этом случае задачи обеспечения безаварийной работы в море не решаются в полной мере. Это связано с тем, что

мировая сеть наблюдений за волнением охватывает лишь районы интенсивного судоходства (например, средней части Средиземного и Балтийского морей) и нефтедобычи на шельфе (например, Северного моря). Такие районы экономических интересов России, как Каспийское, Черное моря, двухсотмильная экономическая зона северных и дальневосточных морей наблюдениями за волнением не охвачены.

По причинам, связанным с ветром и волнением, в конце прошлого века за десять лет было утеряно 4 морские платформы. За десять лет нынешнего столетия – уже 11, среди которых и платформа “Кольская”, которая затонула 18 декабря 2011 г. Статистика регистра Ллойда, приводимая в отношении судов, также утверждает, что на первом месте стоят аварии из-за воздействия ветра и волнения. По этой причине в год гибнет до 150 судов. Кроме решения задач прогнозирования, ВБ в мировой практике используются для принятия решений, например, о возможности выполнения работ при разработке и эксплуатации новой морской оборонной техники, заходе судов на рейд, фактической безопасности гидротехнических и иных морских сооружений, судоподъемных и др. операциях, в проведении арбитражных измерений при страховании морских инженерных со-

оружий. Указанная ситуация делает задачу измерения параметров морского волнения ВБ с известной точностью чрезвычайно актуальной.

В настоящее время существует множество ВБ, использующих различные принципы работы, измеряющие волнение как в свободном дрейфе, так и в закоренном положении. Как правило, эти приборы изготавливаются транснациональными фирмами – производителями, при этом, их технические описания не всегда отражают суммарную погрешность измерений и чувствительность при различных диапазонах, обычно нормируются лишь погрешности измерительного модуля. К сожалению, оплошности в нормировании метрологических характеристик встречаются и у таких известных приборов как ВБ Waverider DWR-МкIII и DWR-G голландской фирмы Datawell BV (<http://datawell.nl>), которые сегодня являются самыми массовыми и получившими заслуженное признание в мире. Так, в описании DWR-МкIII [6] (подготовленного 01 ноября 2010 г., стр. 40–41) приведены характеристики ВБ, но не указана измеряемая длина волны; зато указано, что общая погрешность составляет менее 0.5%. При этом неясно, относительная это погрешность или приведённая. Очевидно, что предложенные характеристики неверно нормируются изготовителями, и эти неприятности присутствуют в описаниях приборов многих других компаний-производителей ВБ. Особенностью подобных спецификаций является и то, что как правило, точность измерения не соотносится с измеряемыми высотами и периодами волн, несмотря на то, что измерения ординат возвышений волнения проводятся с помощью двойного интегрирования сигнала вертикального ускорения, способствующего накоплению погрешности.

Мировое развитие приборов для измерения волнения привело к появлению на рынке ВБ двух классов – для измерения в основном статистических или исчерпывающих, статистических и спектральных характеристик волн. В связи с известной теорией поверхностных гравитационных волн, изложенной в [7, 10] взволнованная морская поверхность представляется в виде бесконечного ряда Фурье. Первый коэффициент ряда зависит от ординат возвышений водной поверхности, последующие – от углов волнового склона и пространственных производных. Для упрощения решения измерительной задачи обычно используются первые пять коэффициентов, а углы волнового склона измеряются в географической системе координат. В связи с тем, что измерение углов качки буя, пропорциональных углам волнового склона, требует наличия внутри него дополнительной измерительной аппаратуры, многие ВБ ограничиваются измерением лишь ординат возвышений водной поверхности, принимая допущение, что спектр симметричен. В этом слу-

чае волна представляется как бы распространяющейся в одном направлении. Таким образом, с помощью ВБ первого класса возможно получение информации о статистических характеристиках волнения и об ординатах плоского спектра пространственного волнения, который не отражает направление бега волн. ВБ второго класса позволяют построить пространственный двухмерный спектр трехмерного волнения и определить это направление. Каждый из классов ВБ использует свою модель волнения, при этом обе модели очевидно взаимосвязаны и логически вытекают из общей теории поверхностных гравитационных волн [10, 7]. Ординаты возвышений водной поверхности чаще всего измеряются путем интегрирования вертикального ускорения, а значит, погрешность измерений зависит от длины, высоты волны и алгоритмов обработки сигнала вертикального акселерометра.

Следует отметить, что измерение параметров морского волнения с помощью ВБ производится косвенными методами. Первичным измерительным преобразователем ВБ является непосредственно буй. От того, насколько он будет хорошо отслеживать профиль возвышений и ординаты волнового склона, зависит выработка параметров движения буя, выполняемая его измерительным модулем. В связи с этой особенностью метрологическое обеспечение этого вида измерений затруднено. В России практически отсутствуют методы и средства метрологической прослеживаемости этого вида измерений. В связи с этим подобные приборы можно только калибровать, но не поверять [4]. Эталонирование и сертификация ВБ отсутствуют и на мировом уровне, делаются лишь попытки создания отдельных калибровочных стендов [8, 9]. Известные стенды по существу производят калибровку лишь измерительных модулей, а не ВБ в целом. В связи с тем, что от гидродинамических характеристик буя во многом зависит точность измерений параметров волнения, следует отдельно оценивать амплитудно-частотную характеристику его вертикальной и угловой качки, что возможно провести лишь в специализированных волновых опытовых бассейнах. Подобная процедура бывает затруднительной для некоторых мелких производителей, однако крупные компании обязательно проводят эту процедуру. В связи с создавшейся ситуацией, одним из путей оценки действительной точности измерения параметров волнения ВБ является сравнение его результатов с эталонным струнным волнографом или с ВБ, использующим иной принцип измерения.

#### ВБ “ШТОРМ”

В 2014 г. в ЦНИИ “Электроприбор” разработан ВБ “Шторм”, предназначенный для оценки

спектральных и статистических характеристик трехмерного волнения. В связи со значительным развитием за последние годы микромеханических технологий, ВБ был создан на основе микромеханического инерциального измерительного модуля (ИИМ) [3]. Применение подобных модулей является очевидным путем развития и связано со значительным заданием института в области создания подобных устройств. Микромеханические гироскопы и акселерометры имеют низкую точность, однако в случае использования в алгоритме работы ВБ постобработки, точность измерений может быть существенно повышена.

Комплект ВБ “Шторм” состоит непосредственно из ВБ и бортового управляющего прибора. ВБ (рис. 1), состоит из цилиндрического корпуса, обеспечивающего плавучесть, и приборного герметичного контейнера. К нижней части приборного контейнера крепится аккумуляторный блок. В приборном контейнере помещаются контроллер, ИИМ, модем “Иридиум”, а также периферийные электронные платы. На верхней крышке установлены антенны Iridium, GPS и проблесковый маяк.

Бортовой управляющий прибор устанавливается на берегу или морской платформе и предназначен для управления режимами функционирования ВБ, приема, накопления и визуализации измерительной информации, поступающей от ВБ.

Размещенные в приборном блоке ВБ инерциальный измерительный модуль и трехкомпонентный магнитометр МА-8 обеспечивают получение информации о трех составляющих угловой скорости, линейного ускорения и магнитного поля в осях, связанных с ИИМ, в течение 20 мин. Далее процессор выполняет обработку полученных данных для расчета статистических и спектральных характеристик волнения. Полученные результаты при помощи спутниковой связи Iridium передаются на бортовой управляющий прибор.

Технические характеристики ВБ “Шторм” приведены в табл. 1. Стендовая калибровка при-

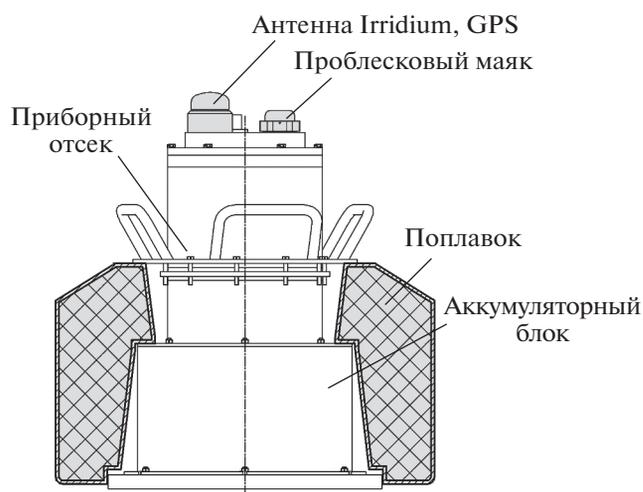


Рис. 1. Конструкция волномерного буя “Шторм”.

бора производилась на стендах угловых и вертикальных колебаний. Ее методика подробно описана в [2].

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЙ ВБ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

С целью подтверждения заявленных и полученных в результате стендовых испытаний характеристик ВБ “Шторм” были проведены сличения результатов натуральных измерений параметров волнения, полученных от разработанного прибора, и ВБ, использующих иной принцип работы. В качестве последних были выбраны хорошо известный ВБ Waverider модификации “Datawell Waverider DWR G” [6] и струнный волнограф. Для проведения натуральных исследований была выбрана морская платформа экспериментального отделения Морского гидрофизического института, расположенная в пос. Кацивели, республика Крым (<http://www.mhi.nas.ua>). Эта платформа является уникальным сооружением не только на

Таблица 1. Характеристики ВБ “Шторм”

Измерение высоты волны	Диапазон	15 м
	Погрешность	$\pm 5\%$ (диапазон 15 м, длина волны 300 м) $\pm 8\%$ (диапазон 1.5 м, длина волны 30 м)
Измерение направления	Ошибка курса	не более $1^\circ$
Измерение углов качки	Диапазон	$\pm 50^\circ$
	Погрешность	$\pm 0.8^\circ$
Общие характеристики	Рабочая температура (в воде)	от $-1^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$
	Канал передачи	Iridium
	Диаметр буя	0.77 м
	Масса буя	90 кг

**Таблица 2.** Характеристики ВБ Waverider DWR-G

Измерение высоты волны	Диапазон	–20...+20 м
	Разрешение	1 см
	Погрешность	<0.5% от измеренной величины после калибровки <1.0% от измеренной величины после 3 лет работы
	Период	1.6–30 с
Измерение направления	Диапазон	0°–360°
	Разрешение	1.5°
	Отсчетное направление Ошибка направления буя	Направление на магнитный полюс 0.4°–2° в зависимости от широты, средн. 0.5°
Предельные температуры	Рабочая (в воде)	–5°С...+35°С (температура воды)
		–5°С...+40°С
Общие характеристики	Канал передачи	Iridium
	Диаметр буя	0.9 м
	Вес буя	250 кг

территории России, но и в мире. Она установлена в 700 м от берега на стальных фермах, стоящих на дне акватории с глубиной 35 м. Струнный волнограф был закреплен на ферме платформы, пронизываемой волнами, со стороны открытой части моря. С той же стороны дальше от берега были заякорены два ВБ на одинаковых якорных связях на расстоянии ориентировочно 40 м от струнного волнографа.

Следует отметить, что ВБ Waverider DWR-G предназначен для измерения параметров двухмерного спектра волнения. ВБ имеет шарообразный корпус, в котором размещены приборный блок и аккумуляторная батарея. Для измерения углов волнового склона и ординат возвышений морской поверхности ВБ использует GPS систему, работающую на эффекте Доплера при перемещениях ВБ на взволнованной поверхности. Технические характеристики, указанные производителем ВБ, приведены в табл. 2 [6]. Результаты анализа технических характеристик этого ВБ также выявляют недостатки их нормирования. В документации не приведен порог чувствительности прибора, указано лишь значение “разрешения”, которое не является адекватной чувствительности характеристикой. Не указаны зависимость погрешности от измеряемых периодов и высот волн внутри диапазона измерений и другие важные характеристики. Однако этот прибор является одним из наиболее известных в мире и хорошо зарекомендовал себя на различных акваториях Мирового океана, что и позволило использовать его для сличения.

Сравнительные исследования волнографов трех типов проводились осенью 2014 г. По результатам записей волнограмм оценивались статистические и спектральные характеристики волне-

ния, полученные от сравниваемых приборов. В результате работ получено 85 волнограмм при волнении от 1 до 5 баллов. Отметим, что при проведении исследований наблюдались сбои в работе всех трех приборов, в результате чего не удалось произвести сравнения параметров волнения, записанных буями, с записями струнного волнографа на интенсивном волнении.

Отметим, что ВБ “Шторм” и струнный волнограф измеряли ординаты волновых возвышений в течение 20 минут, после чего реализации подвергались статистической обработке по единому алгоритму, разработанному для ВБ “Шторм”. Указанный алгоритм статистической обработки волнограмм ВБ “Шторм” выполняет их центрирование для устранения дрейфов, вызванных погрешностями датчиков инерциального измерительного модуля, позволяет учесть наличие вторичных волн вблизи нулевой линии и производит расчет среднего периода, средней высоты волн, а также высоты волны 3%-й обеспеченности.

Отметим, что ВБ Waverider DWR-G в соответствии с руководством по эксплуатации выдает информацию о значительной высоте волны  $h_{1/3}$ , в то время как ВБ “Шторм” и струнный волнограф — о высоте волны 3%-й обеспеченности  $h_{3\%}$  и средней высоте волн  $h_{ср}$ . Под значительной высотой волны понимается средняя высота 1/3 наибольших волн в рассматриваемой совокупности. По распределению Рэля эта величина имеет обеспеченность 13.5% и связана с высотой волны 3%-й обеспеченности следующим соотношением [5]:

$$h_{3\%} = 1.32h_{1/3}. \quad (1)$$

При анализе результатов измерений показания ВБ Waverider были приведены к характери-

Таблица 3. Результаты испытаний на волнении 1–3 балла

Интенсивность волнения	№ п/п	ВБ “Шторм”			ВБ Waverider			Струнный волнограф		
		$h_{3\%}$ , м	$h_{cp}$ , м	$T_{cp}$ , с	$h_{3\%}$ , м	$h_{cp}$ , м	$T_{cp}$ , с	$h_{3\%}$ , м	$h_{cp}$ , м	$T_{cp}$ , с
1 балл	1	0.20	0.10	2.86	0.21	0.10	3.42	0.21	0.10	1.60
	2	0.22	0.12	1.65	0.15	0.07	2.37	0.20	0.10	1.52
2 балла	3	0.28	0.15	1.92	0.29	0.14	2.35	0.30	0.15	2.00
	4	0.35	0.18	2.84	0.36	0.17	3.64	0.40	0.19	2.62
	5	0.48	0.25	3.52	0.49	0.23	3.74	0.49	0.24	3.36
	6	0.48	0.25	3.68	0.49	0.23	3.81	0.58	0.26	3.84
3 балла	7	0.98	0.48	2.98	0.92	0.44	3.15	0.80	0.40	2.85
	8	1.06	0.52	3.09	1.03	0.49	3.33	0.91	0.45	3.07
	9	1.11	0.55	3.56	0.92	0.44	3.48	0.90	0.46	3.33
	10	1.17	0.59	3.56	1.17	0.56	3.70	1.05	0.53	3.47

стикам балльности, нормируемым по шкале ГУ ГМС.

В табл. 3 приведены значения высоты волны 3%-й обеспеченности, среднего периода и высоты волн по данным от ВБ “Шторм”, ВБ Waverider и струнного волнографа для волнения 1–3 балла.

Из таблицы видно, что расчетные значения средней высоты волн  $h_{cp}$  и высоты волны 3%-й обеспеченности  $h_{3\%}$  по данным от струнного волнографа меньше, чем результаты измерений ВБ. Это связано с различными принципами их работы. Струнный волнограф хорошо регистрирует короткие волны, в то время как буи сглаживают их за счет массогабаритных характеристик и не способны измерять волны, длина которых соизмерима с диаметром их корпуса.

Анализ результатов измерений трех приборов (табл. 3), показывает, что относительная погрешность измерения средней высоты волны при эталонировании буев струнным волнографом составляет: для ВБ “Шторм” от 1 до 15%, для ВБ Waverider – от 3 до 20%. Относительная погрешность расчета среднего периода не превысила 10%.

В связи с отсутствием данных струнного волнографа на значительном волнении оценка результатов измерений производилась только для двух ВБ.

На рис. 2 точками представлены разности между значениями средних высот волн, полученными с помощью ВБ “Шторм” и ВБ Waverider, в зависимости от балльности волнения.

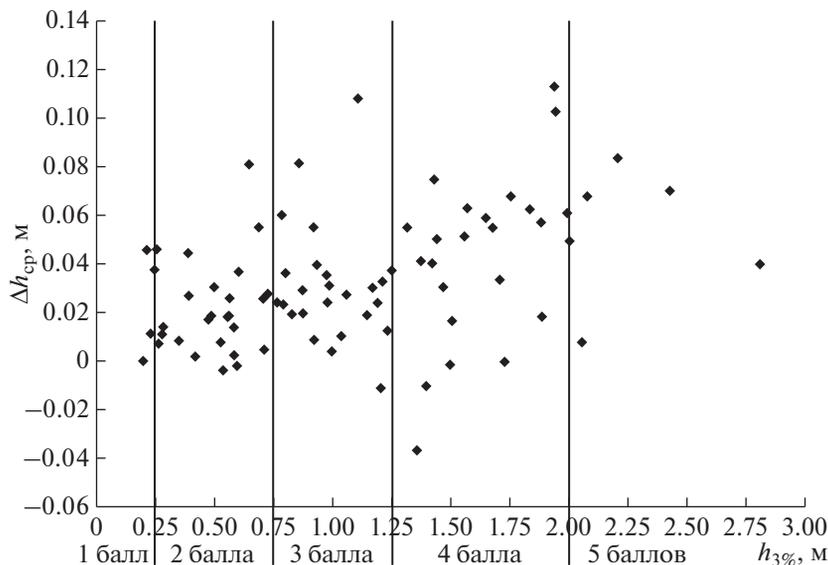
Из рисунка видно, что на малом волнении до 3 баллов разница показаний ВБ “Шторм” и ВБ Waverider в среднем не превышает 5 см, а на волнении до 5 баллов – 10 см. При этом разница в определении среднего периода волн составляла  $\pm 0.5$  с.

Одной из задач при проведении сравнительных испытаний было построение пространственных спектров морского волнения для определения генерального направления распространения волн.

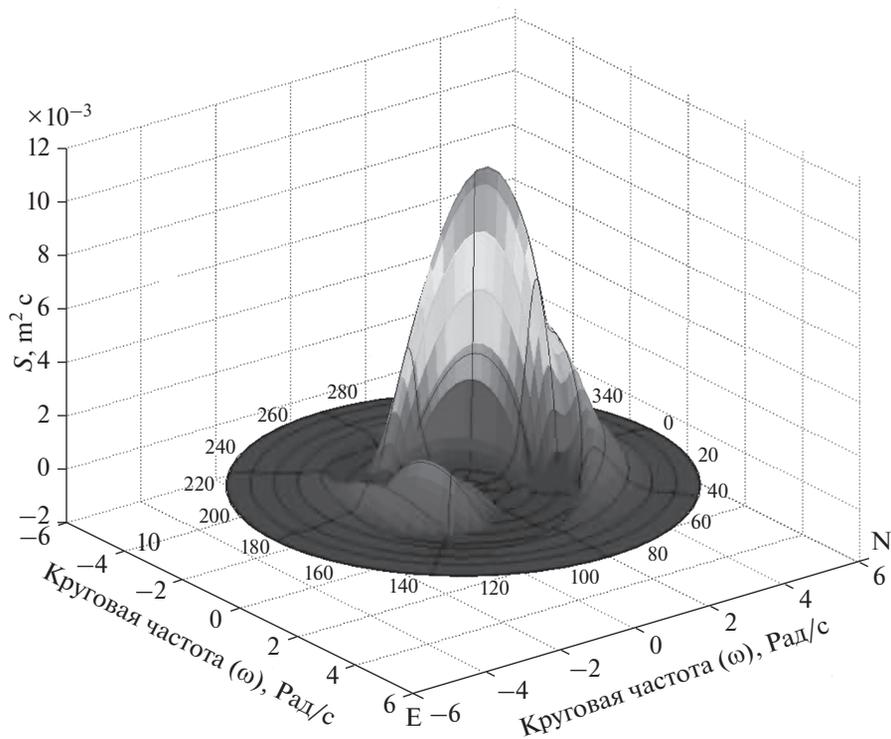
ВБ “Шторм” при построении двумерного спектра использует метод Лонге-Хиггинса, Свешникова [10, 7]. При этом спектр строится в осях географической системы координат (рис. 3). Максимальное значение площади сечения графика спектральной плотности позволяет судить о генеральном направлении распространения волн. В отличие от ВБ “Шторм”, ВБ Waverider для решения этой задачи использует метод максимальной энтропии [6]. При этом построение спектра проводится в развернутом логарифмическом виде. В связи с этим сравнение результатов построения двумерных спектров волнения с помощью указанных ВБ представляется затруднительным.

Однако одномерные (плоские) спектры морского волнения, построенные по данным от обоих буев, хорошо согласуются между собой и имеют близкие значения дисперсии. В табл. 4 приведены значения разности дисперсий одномерных спектров ВБ “Шторм” и ВБ Waverider при различных интенсивностях волнения, а также расчетные значения среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности ВБ “Шторм” при условии, что ВБ Waverider принят за эталонный прибор для сличения показаний.

Из таблицы видно, что, как и в случае статистической обработки, при расчете параметров волнения через спектральные характеристики СКО погрешности ВБ “Шторм” при волнении 2–3 балла составляет 7 см, а при волнении 4–5 баллов – 10 см. Наибольшие погрешности наблюдаются на малом волнении 1 балл, поскольку при этом инерциальным модулем ВБ “Шторм” измеряются незначительные по величине угловые скорости и линейные ускорения.



**Рис. 2.** Разности между полученными с помощью ВБ значениями средней высоты волн в зависимости от балльности волнения.



**Рис. 3.** Пример двухмерного спектра, построенного ВБ “Шторм”.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнительных испытаний показывают, что струнный волнограф может быть использован в качестве эталонного прибора для сличения показаний буев, в связи с тем, что он позволяет измерять как короткие, так и длинные

волны, что подтверждается получением с его помощью меньших значений средней высоты и периода волн.

Погрешность ВБ “Шторм”, оцененная в ходе сравнительных испытаний, не превосходит значений, приведенных в табл. 4. Натурные испыта-

**Таблица 4.** Результаты испытаний ВБ “Шторм” и ВБ Waverider

Интенсивность волнения	№ п/п	Разница дисперсий одномерных спектров ВБ “Шторм” и ВБ Waverider, м <sup>2</sup>	Среднее значение разницы дисперсий, м <sup>2</sup>	СКО, м
1 балл	1	0.0002	0.0182	0.13
	2	0.0012		
	3	-0.0004		
2 балла	4	0.0007	0.0019	0.04
	5	0.0001		
	6	0.0017		
	7	0.0024		
	8	0.0040		
3 балла	9	0.0075	0.0042	0.07
	10	0.0037		
	11	0.0011		
	12	0.0111		
	13	-0.0051		
	14	-0.0002		
4 балла	15	-0.0102	0.0078	0.09
	16	-0.0027		
	17	0.0010		
	18	0.0087		
	19	0.0212		
	20	0.0054		
5 баллов	21	0.0247	0.0097	0.10
	22	-0.0017		
	23	0.0118		
	24	0.0078		
	25	0.0025		

ния показали работоспособность и хорошее качество разработанного ВБ по сравнению с одним из лучших зарубежных аналогов. Испытания позволили отработать методики получения спектральных и статистических характеристик морского волнения различной интенсивности.

Следует отметить, что подобные сравнительные натурные испытания ВБ различных типов проводились в России впервые за последние 25 лет. Аналогичные работы выполнялись лишь в 1990 г. во время рейса НИС “Академик Крылов” [1].

Авторы благодарят всех сотрудников ФГУП “Крыловский государственный научный центр” и АО “Концерн “ЦНИИ “Электроприбор”, участвовавших в проведении испытаний. Отдельную благодарность выражаем Л. П. Старосельцеву, без помощи которого испытания едва ли могли бы состояться.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-08-00010-а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязин Д.Г. Расчет и проектирование буюв для измерения морского волнения. СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2000. 133 с.
2. Грязин Д.Г., Старосельцев Л.П., Белова О.О., Дзюба А.Н. Инерциальный измерительный модуль волномерного бую. Результаты разработки и испытаний // Гироскопия и навигация. 2016. №1 (92). С. 88–99.
3. Грязин Д.Г., Старосельцев Л.П., Белова О.О., Глеб К.А. Волномерный буй “Шторм” с инерциальным микромеханическим измерительным модулем. Результаты разработки и испытаний // Океанология. 2017. Т. 54. № 4. С. 1–18.
4. Кочарян С.А., Пронин А.Н. Особенности и современное состояние обеспечения единства гидрологических измерений // Материалы конференции

- “Метрология гидроакустических измерений”. Менделеево: ФГУП “ВНИИФТРИ”, 2013. С. 174–196.
5. *Рахманин Н.Н.* Стохастическое описание морской поверхности. СПб.: Государственный морской технический университет, 1994. 52 с.
  6. Руководство пользователя Datawell Waverider WR-SG, DWR-MkIII, DWR-G. Datawell BV, 2010. 142 с.
  7. *Свешников А.А.* Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968. 464 с.
  8. *Gerritzen P.L.* The calibration of wave buoys. Datawell BV, Zomerluststraat 4, 2012 LM Haarlem. The Netherlands. [http://www.datawell.nl/Portals/0/Documents/Publications/ datawell\\_publication\\_hydrographicinstrumentation-calibrationwavebuoys\\_oct1993\\_2004-06-30.pdf](http://www.datawell.nl/Portals/0/Documents/Publications/datawell_publication_hydrographicinstrumentation-calibrationwavebuoys_oct1993_2004-06-30.pdf).
  9. *Jianqing YU.* How we calibrate the Wave Height and Period Measurements from the Gravitational Acceleration Wave Buoys in RMIC/AP, China, 2014. 21 p. [https://library.wmo.int/pmb\\_ged/dbcp-td\\_51\\_en/presentations/DBCP-30-STW-11-YU-Jianqing-Calib-Waves-China.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/dbcp-td_51_en/presentations/DBCP-30-STW-11-YU-Jianqing-Calib-Waves-China.pdf).
  10. *Longuet-Higgins M.S., Cartwright D.E., Smith N.D.* Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of floating buoy // Prentice – Hall Ocean wave spectra, 1963. P. 111–136.

## Research of Characteristics of Wave Buoys by Comparison Measurements

D. G. Gryazin, O. O. Belova, K. A. Gleb, M. I. Kovchin

A method is proposed for estimating the accuracy of measurement of wave parameters by wave buoys. The results of comparative full-scale tests of the developed wave buoy “Storm”, buoy “Waverider” and string wave are given. It is shown that the standart deviation of the error of the buoy “Storm” does not exceed 0.1 m for the wave state up to 5 grade. The conducted researches allowed to improve the methods of obtaining the spectral and statistical characteristics of sea waves of different intensity.