



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

На тему: «Усовершенствование системы мониторинга за навигационной
обстановкой судов».

Исполнитель: Ткачёв Иван Геннадьевич

Руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент

Лукьянов Сергей Васильевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

« ____ » _____ 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ВОЛНЕНИЯ.....	4
1.1. Волнение	4
1.2. Течения.....	15
Вывод.....	22
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ И ТЕЧЕНИЯМИ.....	23
2.1. Волнографы	23
2.2. Гидрометрическая вертушка.....	35
Вывод.....	43
ИЗМЕРИТЕЛЬНО – ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЙ И МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДОПЛЕРОВСКОГО ЭФФЕКТА.....	44
3.1. Акустический доплеровский измеритель течения (ADCP) Workhorse Sentinel.....	44
Вывод.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Мировой океан обладает огромными пищевыми, минеральными и энергетическими ресурсами, поэтому ученые многих стран считают, что в ближайшие десятилетия человечеству необходимо направить максимальные усилия на освоение этих ресурсов. Всестороннее изучение природы океана необходимо и для повышения безопасности и эффективности мореплавания — основного вида транспорта

В настоящее время перед человечеством, особенно в странах или регионах, обладающих морским побережьем, встала проблема развития системы Комплексного управления прибрежной зоной - КУПЗ (которую еще называют интегрированной системой управления прибрежными территориями), направленной на оптимизацию природопользования в прибрежной зоне. Необходимость решения подобной проблемы была отмечена в решениях Международной конференции Организации Объединенных Наций по охране окружающей среды в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Вполне понятно, что КУПЗ представляет собой непрерывный процесс выработки и принятия решений для гармонизации социально-экономического развития прибрежно-береговых регионов в целях их устойчивого развития. [1,2]

Актуальность моей работы заключается в сравнении измерительно информационных систем для определения характеристик течений и морского волнения и выявления наиболее подходящей из них для решения задач по измерению основных гидродинамических характеристик.

Объектом исследования являются приборы и системы, позволяющие производить наиболее точные измерения таких характеристик как скорость и направление скорости течения, а также морское волнение.

Предметом же исследования являются информационно-измерительные системы для данных измерений на основе доплеровского эффекта.

Целью работы является сравнение приборов для измерения гидродинамических характеристик и выявление наиболее функционального из них.

Исходя из цели, в дипломной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование необходимости измерений таких характеристик, как скорость и направление скорости течения, а также морского волнения
2. Описание приборов для измерения данных характеристик, а именно гидрометрических вертушек и волнографов
3. Описание измерительно-информационных систем на основе доплеровского эффекта
4. Анализ измерительно-информационных систем на основе технических характеристик.

Теоретическая часть выпускной бакалаврской работы заключается в описании двух гидродинамических характеристик, а также в описании приборов для измерения этих характеристик.

Практическая часть данной работы заключается в сравнительном анализе измерительно-информационных систем для определения характеристик течений и морского волнения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ВОЛНЕНИЯ

1.1. Волнение

1.1.1 История наблюдения за волнением и основные элементы

Поверхностное волнение моря - это процесс формирования, развития, распространения и затухания вызванных ветром волн на акваториях океанов, морей и других бассейнов. Волнение поверхности моря является одной из самых изучаемых океанологических характеристик, которые еще с давних времен интересовали людей учёных и просто людей связанных с морем. Суда и сооружения, находящиеся в прибрежной черте, в первую очередь попадают под воздействие ветровых волн. [2,3]

Кроме этого, волнение влияет на:

1. Образование квазиоднородного слоя;
2. Передачу энергии;
3. Глубину перемешивания; интенсивность газообмена между океаном и атмосферой
4. Загрязнение глубинных слоев моря
5. Изменение отражательной способности морской поверхности, что особенно сказывается при использовании неконтактных методов исследования океана и т.п.

Волны размывают и разрушают берега. Перемещают морские наносы (ил, гальку, песок) и заполняют ими судоходные каналы и портовые акватории, могут разрушать гидротехнические сооружения. Также данные о зыби и ветровом волнении для многих практических целей (судостроение,

гидротехническое строительство на морях, навигация, рыбный промысел, расчет гидрофизических и гидрохимических процессов в океане и т.д.). [1,2,3]

Ветровое волнение - это процесс формирования, развития, распространения и затухания вызванных ветром волн на акваториях морей, океанов и других бассейнов. Размеры, тип и форма волнения, скорость их перемещения, степень волнения, состояние поверхности моря (с.п.м.), т.е. все элементы волн зависят от этих внешних причин : от силы ветра, размер и форма акватории в которой проводятся исследования и т.п.. Для расчёта волнения и его прогноза в конкретных условиях необходимо изучение этих зависимостей. Решение этой задачи требует, естественно, законченной теории образования и развития волнения, для чего крайне необходимо проведение непосредственных наблюдений за волнением как в открытом море, так и в прибрежной зоне. Для получения достоверных данных о волнении необходимы измерения элементов волн. Такими элементами являются:

Высота волны - превышение вершины волны над соседней подошвой на волновом профиле, проведенном в генеральном направлении распространения волн;

Длина волны - горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле, проведенном в генеральном направлении распространения волн;

Период волны - интервал времени между прохождением двух смежных вершин волн через фиксированную вертикаль;

Направление распространения волн - направление перемещения волны, определяемое за короткий интервал времени порядка периода волны;

Скорость волны - скорость перемещения гребня волны в направлении ее распространения, определяемая за короткий интервал времени порядка периода волны;

Крутизна волны - отношение высоты данной волны к ее длине;

Различаются следующие типы волнения:

Ветровые волны — это волны, вызванные ветром волны, находящиеся под его воздействием. В их число входит гравитационные ветровые волны (вызванные ветром волны, в формировании которых основную роль играет сила тяжести), капиллярно-гравитационные ветровые волны (вызванные ветром волны, в их формировании участвует сила тяжести и сила поверхностного натяжения) и капиллярные ветровые волны (вызванные ветром волны, в их формировании главную роль играет сила поверхностного натяжения). [3,4]

Зыбь - вызванные ветром волны, которые распространяются в области волнообразования после того как ветер ослабнет или изменится его направление.

Мертвая зыбь — волны, вызванные ветром и распространяющиеся при его отсутствии.

Смешанное волнение - волнение, которое образуется в результате взаимодействия ветровых волн и зыби;

Существует несколько форм волнения

- Регулярное волнение - волнение, в котором элементы волн и их форма одинаковы
- Нерегулярное волнение — волнение, в котором форма и элементы волн меняются от одной волны к другой.
- Толчея - беспорядочное волнение, возникает при взаимодействии волн, бегущих в разных направлениях;

Состояние поверхности моря – элемент поверхностного волнения, выражаемый в баллах и отражающий эффект воздействия ветра на поверхность моря, вне зависимости от размеров волн. [2,4,5]

Характеристики волн изменяются при распространении из открытой части моря в прибрежную зону. При прохождении над мелководьем и приближении к берегу волны деформируются, вершины их гребней

опрокидываются, волны начинают обрушиваться, энергия гасится. Данное явление называется бурун и служит признаком разрушения волн. Волны такого типа с забуруненными гребнями носят название прибойные волны, а всё это явление в целом носит название прибой. Когда такой прибой сопровождается выбросом воды на большую высоту, это явление носит название взброса. Прибойные волны окончательно разрушаются вблизи береговой черты. Они опрокидываются или забуруниваются, после чего масса воды устремляется на берег, заливая его, а затем снова откатывается. Данное явление носит название накатом. Следует отметить, что чем длиннее волны в открытом море, тем дальше от берега и на большей глубине появляются прибойные волны и тем больше их рядов образуется на прибрежном прибойном участке моря. Высота прибойной волны характеризует силу прибоя. Оцениваются эта высота в баллах по шкале степени волнения.

В акваториях с малыми глубинами на форму и размеры ветровых волн и зыби оказывает влияние сила их трения о дно. В этом случае меняется форма волны а так же её геометрические размеры. Этот процесс называется трансформацией волн. Трансформация волн на мелководье приблизительно начинается на глубине равной половине средней длинны волны.

Для выполнения Комплексного управления прибрежной зоной моря требуется количественное описание волн, для этого используют данные о значениях волн заданной обеспеченности и о средних значениях элементов волн. Данные величины называются параметрами ветрового волнения или статистическими характеристиками.

В данном случае используются следующие характеристики волнения:

- средняя высота и высоты заданной обеспеченности;
- средняя длина и длины заданной обеспеченности;
- средний период и периоды заданной обеспеченности;
- направление распространения волн;

- средняя скорость распространения волн, средняя крутизна волн.

Эти параметры ветрового волнения в определенной точке акватории в каждый момент времени определяются распределением скорости и направления ветра над исследуемой акваторией, продолжительностью действия ветра, разгоном волн, глубиной места, рельефом и уклонами дна и конфигурацией береговой черты бассейна.

Разгон волн - это расстояние, измеренное в направлении против ветра от точки наблюдений до подветренного берега (откуда дует ветер) или до подветренной границы поля ветра.

Акватории, в пределах которых дно не влияет на развитие волнения (глубины в этом случае составляют более 65 % средней длины волны в данном районе), называются глубоководными, иногда используется термин глубокая вода. Акватории, в пределах которых дно влияет на развитие волн, называются мелководными, или мелкая вода. В этом случае глубина составляет менее 65 % средней длины волны, а уклоны дна или близки к нулю, или произвольны, если глубины увеличиваются в направлении распространения волн. Прибрежная полоса воды, в которой, начиная с определенных глубин и до уреза воды, протекает процесс трансформации и окончательного разрушения волн, носит название – прибрежное мелководье. Типы акваторий и зон действия ветровых волн определяются в зависимости от соотношения между характеристиками волнения, с одной стороны, глубинами и уклонами дна - с другой.[1,2]

В случае обеспечения комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ) для определения воздействия на гидротехнические и различные прибрежные сооружения в общем случае нужно знать расчетные параметры волн: высоту, период и длину расчетной волны, возвышение ее гребня над уровнем покоя, глубину первого обрушения волн, глубину последнего обрушения волн, высоту наката (заплеска воды на берег) или высоту взброса (если берег представляет собой круто наклонную стенку, принимающую на себя удары волны).

Расчетными называются такие характеристики волн, которые могут наблюдаться у гидротехнических и различных прибрежных сооружений при наиболее жестоких и волноопасных штормах и которые используют для определения воздействия волн на сооружения при их проектировании. Эти штормы и сопровождающиеся их ветровые условия также называются расчетными. В зависимости от класса и капитальности сооружения режимную обеспеченность расчетных штормов обычно принимают равной 10, 4, 2, 1 %, т.е. рассматривается максимальный шторм возможный один раз в 10, 25, 50 и 100 лет

1.1.2. Обоснование необходимости наблюдений

Для определения расчетных параметров волн и характеристик волнения непосредственно из наблюдений необходимо располагать систематическими многолетними инструментальными наблюдениями, проведенными именно в исследуемом районе и на определенных глубинах. Конечно же, такие наблюдения заранее не производятся и данные, как правило, отсутствуют. В некоторых случаях при случайном стечении обстоятельств имеющийся многолетний пункт наблюдений совпадает с районом исследований. Но даже и в этом случае результаты наблюдений обычно обладают недостаточно высоким качеством, так как чаще всего производятся полуинструментальными методами и заранее не подчинены задачам КУПЗ. Поэтому необходимые параметры обычно получают расчетным путем. Но, несмотря на это, проведение натурных измерений представляет собой важную часть осуществления КУПЗ, особенно при проектировании и эксплуатации различных сооружений в море и прибрежной его части.

Чаще всего проведение подобных измерений необходимо в следующих случаях:

Измерения осуществляются для получения предварительных или ориентировочных данных о ветроволновых условиях при отсутствии другой информации (синоптических карт с достаточной разрешающей способностью, стационарных наблюдений и т.п.).[1,2,3]

В качестве одной из основных задач натурных измерений можно назвать проверку методов расчета ветра и волн. Важность этой задачи обусловлена тем, что многочисленные современные методы расчета и прогноза, применяемые в настоящее время во всем мире, еще заметно различаются между собой и, кроме того, они еще мало апробированы для штормовых условий, которые особенно важны для решения задач КУПЗ. Согласно данным Всемирной Метеорологической Организации, лучшие зарубежные спектральные и параметрические методы обеспечивают средне квадратическую ошибку расчета примерно 1,5 - 2 м при характерных высотах волн (средняя высота одной трети наиболее высоких волн на волнограмме) примерно до 12 - 14 м. Ошибки расчетных и прогностических методов определялись путем сравнения результатов расчета и прогноза высот волн с измерениями, выполненными с помощью акселерометрических буйков, больших океанографических буйев, волнографов различных типов, устанавливаемых на океанографических платформах и судах погоды, спутниковых измерителей. Отечественные методы, к сожалению, такой широкой проверки еще не прошли.

Особый интерес представляют штормовые условия и условия, плохо учитываемые современными методами. К штормовым можно отнести условия, когда скорость ветра превышает 15-20 м/с, обеспеченность таких скоростей в евразийских морях составляет преимущественно 3 - 10 % и 0,5 - 1 % соответственно. Существующие методы расчета дают заметно различающиеся данные по параметрам при относительном разгоне $gl / P < 100$, где I – разгон волн, м; V - скорость ветра, м/с.

Подобная картина наблюдается и на мелководной акватории с относительными глубинами $gH / P < 0,01$, где H - глубина места, м. Здесь необходимо обращать внимание на следующие обстоятельства:

- преобладание волн зыби в данном исследуемом районе;
- требуют специального внимания районы, расположенные под защитой мысов, островов, внутри бухт или на акватории сообщаемой с внешней акваторией сравнительно узким проливом или входом в канал. В этих случаях на элементы волн может оказывать влияние дифракция;
- в районе находящегося вблизи наветренного берега на расстоянии нескольких расчетных длин волн, при уклонах дна более 0,1, так как здесь может сказываться влияние отраженных волн;
- в районах отрицательных форм рельефа дна (желобов, морских каналов, каньонов), где часть волновой энергии может сложным образом фильтроваться и перераспределяться;
- на акваториях со сложным контуром береговой черты и при наличии множества островов. Здесь расчет осложняется кроме всего прочего наличием мелководий вокруг островов;
- при сложном рельефе дна вблизи проектируемых или эксплуатируемых сооружений в море, когда необходимо построить планы рефракции для спектральных составляющих с различными периодами и направлениями распространения;
- при уклонах дна в прибрежной зоне более 0,05 или меньше 0,002. В этих условиях плохо изучена трансформация волн;
- при наличии относительно сильных течений - когда $C/W < 10$, где W - скорость течения, м/с; $C = g/2\pi$ - условная средняя фазовая скорость волн, м/с.

Еще одной важной задачей проведения натурных наблюдений является накопление многолетних рядов данных измерений, анализ которых позволяет осуществить проверку методов расчета режима ветра и волн в исследуемом районе и провести методические исследования тонких характеристик режима:

двумерных функций распределения, характеристик устойчивости ветра и волн, режимных спектральных функций, функций распределения параметров волн и скоростей ветра конкретного направления (при разбивке по румбам) и т.д.

Кроме того, многолетние ряды наблюдений дают возможность оценить изменчивость ветро-волнового климата, выявить закономерности распределения штормов и решить другие вопросы. И, конечно же, нельзя забывать о возможностях получения оперативной информации о ветре и волнах и последующей передачи в прогностические органы Росгидромета. [3,4]

Весь комплекс современных наблюдений за волнением обычно выполняют визуально и с помощью различных приспособлений и приборов. Наблюдения за волнением производятся и с берега, и в открытом море - на судах различного типа и назначения, а также на буйковых станциях и стационарных платформах.

1.1.3. Визуальные наблюдения за волнением

Заключаются в глазомерной оценке следующих элементов волнения: степени состояния поверхности моря, типа и формы волнения, длины, высоты, направления и периода. Визуальные наблюдения все же обладают малой точностью и поэтому в основном используются в информационных целях.

Определение степени волнения осуществляется по высоте наблюдаемых высот волн, производимое с округлением: до 0,25 м - при высоте волн до 1,5 м; до 0,5 м - при высотах волн от 1,5 до 4 м; до 1 м - при высотах волн более 4 м.

Наибольшая высота волн определяется по оценке пяти наиболее заметных крупных волн, прошедших перед глазом наблюдателя в течение 5 мин. Высоты волн (табл 1.1.3.1) определяются на глаз, по последовательным отметкам гребня и подошвы на борту судна или по визуальной проекции гребня на надстройки или мачты судна. Перевод высоты волны в степень волнения производится с помощью шкалы степени волнения.

Таблица 1.1.3.1 - Шкала степени волнения

Высота волн, м		Балл степени волнения	Словесная характеристика волнения
от	до		
—	—	0	Волнение отсутствует
0	0,25	1	Слабое
0,25	0,75	2	Умеренное
0,75	1,25	3	Значительное
1,25	2,0	4	Значительное
2,0	3,5	5	Сильное
3,5	6,0	6	Сильное
6,0	8,5	7	Очень сильное
8,5	11,0	8	Очень сильное
11,0 и более	11,0 и более	9	Исключительное

Состояние поверхности моря определяется в баллах, а критерием для его оценки является вид поверхности моря под действием на нее ветра

Таблица 1.1.3.2 - Состояние поверхности моря определяется в баллах

Характеристика состояния поверхности моря, баллы	Признаки для определения состояния поверхности моря
0	Зеркально-гладкая поверхность.
1	Рябь, появляются небольшие гребни волн.
2	Небольшие гребни волн начинают опрокидываться, но пена не белая, а стекловидная.
3	Хорошо заметны небольшие волны, гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену – «барашки».
4	Волны принимают хорошо выраженную форму, повсюду образуются «барашки».
5	Появляются гребни большой высоты, их пенящиеся вершины занимают большие площади, ветер начинает срывать пену с гребней волн.
6	Гребни очерчивают длинные валы ветровых волн, пена, срываемая с гребней ветром, начинает вытягиваться полосами по склонам волн.
7	Длинные полосы пены, срываемой ветром, покрывают склоны волн и местами, сливаясь, достигают подошв.
8	Пена широкими, плотными сливающимися полосами покрывает склоны волн, отчего поверхность становится белой, только местами во впадинах волн видны свободные от пены участки.
9	Вся поверхность покрыта плотным слоем пены, воздух наполнен водяной пылью и брызгами.

При этом необходимо обращать внимание на внешние признаки: вид гребней, появление и распределение по водной поверхности барашков, брызг и

пены. По с.п.м. можно судить о силе ветра. Бальность с.п.м. определяется по специальной шкале. Определение состояния поверхности моря производится только при ветре. При штиле с.п.м. всегда равен нулю. При мертвой зыби с.п.м. не определяется. [4,5]

Форма волнения определяется по расположению на поверхности моря гребней и впадин волн. Волны зыби и хорошо развитые ветровые волны при большой степени волнения являются примером регулярного волнения, когда хорошо заметны на водной поверхности сравнительно длинные гребни следующие в виде параллельных валов друг за другом. При нерегулярном волнении гребни волн разорваны на отдельные части неодинаковой высоты и длины по фронту движения, расстояние между соседними гребнями волн больше, чем длина этих гребней по фронту движения.

Направление распространения волн может быть определено путем непосредственного пеленгования по судовому компасу и фиксируется по восьми румбам: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ. Кроме того, необходимо учитывать, что направление указывается в соответствии с тем, откуда идут волны.

Если наблюдается смешанное волнение, то направление определяется для каждого типа, а запись производится в виде дроби. Длина волны определяется путем сравнения с длиной судна. При длине волны больше длины судна с кормы вытравливается буюк на такое расстояние, чтобы он находился на гребне волны, когда второй гребень находится под наблюдателем.

Период волнения определяется путем засечки секундомером ремени прохождения через определенную, четко зафиксированную на поверхности моря, точку одиннадцати последовательно следующих друг за другом гребней волн. Затем это полученное время делят на десять и получают период волнения.

1.2. Течения

1.2.1. Методы наблюдения и основные положения

Морские течения наиболее сложная и наименее изученная океанологическая характеристика. Знание морских течений крайне важно для обеспечения Комплексного управления прибрежной зоной. Особенно необходимы эти знания для проектирования прибрежных и морских сооружений, включая трубопроводы и их эксплуатацию; для расчета нагрузок на эти сооружения, вызванные дрейфующим льдом и при навале льдов на суда; определения скорости и направления переноса загрязняющих веществ. Опыт показывает, что имеющаяся информация по течениям в большинстве случаев позволяет представить лишь общую картину циркуляции вод бассейна или его частей. Приступая к рассмотрению вопроса об измерении течений в Мировом океане, необходимо остановиться на современных представлениях о физической сущности самой измеряемой величины, т.е. скорости и направлении течений. Возникновение течений, связанное с общей циркуляцией, является следствием различных гидрометеорологических процессов, протекающих как в планетарном, так и в региональном масштабах. Все это вызывает как горизонтальные, так и вертикальные циркуляции. Изменчивость океанических течений во времени и пространстве изучена еще явно недостаточно, а методология и технология измерения вертикальной циркуляции в настоящее время находится еще в начальной стадии. Самые высокие скорости течения (3 - 5 м/с и выше) наблюдаются в узкостях и проливах. Максимальные скорости таких мощных океанических течений, как Гольфстрим, Кuroсио и т.п. достигают 2,0 - 2,5 м/с, экваториальных противотечений - 1,0 - 1,5 м/с, средняя скорость обычных 204 океанических течений составляет примерно 0,1 м/с, а средняя меридиональная скорость глубинной циркуляции около 0,035 м/с. Кроме того, в потоке обычно

наблюдается турбулентный режим движения воды, характеризующийся перемешиванием водных масс, вызывающим пульсацию скоростей течений как по значению, так и по направлению.[1,2,3]

Существующая аппаратура позволяет измерять подобные изменения скорости и направления течений во времени. Проведенные исследования показывают, что, например, пульсационные изменения происходят с большой частотой, причем на отдельные пики значительной амплитуды накладываются пики меньшей амплитуды, но большей частоты. Измерения течений в океане до недавнего времени проводились, как правило, для получения географических представлений о скоростях течений, переносе водных масс и других подобных сведений.

В связи с развитием гидродинамики океана в настоящее время результатам измерений скоростей течений стали придавать несколько иное значение. Так, например, открытие явления синоптического вихреобразования в океане, мощных вихрей с размерами в десятки и сотни километров, энергия течений в которых намного превосходит энергию крупномасштабной циркуляции вод в океане, в значительной мере предопределило дальнейшее развитие теоретических и экспериментальных исследований по динамике океана. Течения измеряются либо в полярной системе координат, когда регистрируется модуль скорости и угол его ориентации относительно магнитного меридиана, либо в декартовой системе координат, когда измеряются проекции вектора скорости на ортогональные оси координат и углы ориентации этой системы координат относительно магнитного меридиана. По результатам измерений, во втором случае определяются проекции вектора скорости течения на меридиан и параллель. К точности измерений течений в океане, а точнее, скоростей движения воды в настоящее время предъявляются высокие требования. Это обусловлено тем, что результаты измерений необходимы для исследования динамических балансов, эффектов взаимодействия движений разных пространственно-временных масштабов, а

также для оценки существующих и разработки новых теоретических концепций. [2,4,5]

1.2.2. Основные понятия и определения

В настоящее время в прибрежной зоне моря все морские течения, в зависимости от вызывающих их причин, можно разделить на ветровые, дрейфовые, компенсационные, сейшевые, стоковые, прибрежные циркуляционные, плотностные, приливоотливные. Ветровыми течениями принято называть всю совокупность движений воды, вызванных непосредственным влекущим воздействием ветра, а также и наклоном водной поверхности и перераспределением плотности воды, обусловленных ветром.

Дрейфовые течения возникают в результате влекущего действия ветра. Компенсационные течения, как правило, восполняют убыль воды, которая образуется при растекании избытка воды, например, при сгонах или нагонах. Сейшевые течения представляют собой горизонтальную составляющую орбитальной скорости частиц в сейшевых волнах.

Стоковые течения образуются под влиянием стока впадающих в море рек. Прибрежные циркуляционные течения появляются как следствие взаимодействия потоков открытого моря с формами рельефа дна и конфигурацией берегов или гидротехнических сооружений. Плотностные течения возникают вследствие горизонтальной плотностной неоднородности морских вод. Приливотливные течения, образующиеся под влиянием приливообразующих сил, имеют ярко выраженный периодический характер (полусуточный, суточный, полумесячный и т.п.). В то же время все вышеперечисленные типы течений являются непериодическими.

1.2.3. Состав и объем исследований и обоснование их необходимости

В прибрежной зоне влияние некоторых факторов, воздействующих на формирование течений, оказывается отличным от зоны открытого моря. Так, например, стоковые течения наблюдаются только в устьях рек, компенсационные течения наиболее четко проявляются в районах с сильными сгонно-нагонными явлениями, циркуляционные течения наблюдаются только в прибрежной зоне, плотностные течения в прибрежной зоне проявляются относительно слабо.

В море довольно редко наблюдаются течения, вызванные каким-либо одним течениеобразующим фактором. Обычно одновременно действует ряд сил, которые создают так называемые суммарные течения, которые и измеряют при наблюдениях. В глубоководных морях в качестве морской границы прибрежной зоны принято условно считать 50-метровую изобату. А в мелководных морях за подобную границу принимают зону имеющих в данном районе морских гидротехнических и различных прибрежных сооружений, а также зон строительства таких сооружений плюс 2-3 мили. Состав и объем исследований в прибрежных районах моря обычно отмечается возрастание скоростей неперiodических течений с удалением от берега и их уменьшение в устьевых областях рек по мере удаления от замыкающего створа.

Для прибрежной зоны моря также характерна большая пространственно-временная изменчивость по сравнению с открытым морем. Для целей Комплексного управления прибрежной зоной моря основные сведения о режиме течений должны включать общую характеристику полей течений изучаемого бассейна (или какой-либо его части для каждого сезона), представленную в табличном виде. В этом случае, тем более, если в исследуемом районе предполагается какое-нибудь строительство или прокладка трубопровода, необходимо определить:

- розы поверхностных и придонных течений, ежемесячно;

- таблицы повторяемости скоростей течений по направлениям;
- средние скорости течений независимо от направления;
- средние скорости течений от каждого румба;
- максимальные скорости течений от каждого румба;
- направление и скорость суммарного переноса вод;
- функцию распределения скоростей независимо от направления и для каждого румба;
- режимные сведения о вертикальной структуре течений, включая эпюры средних и максимальных скоростей;
- общую схему течений с детализацией по сезонам не менее чем на трех горизонтах, для поверхностного течения
- схема с детализацией по типовым полям ветра.

Данные о повторяемости течений позволяют судить и о времени, в продолжении которого будет действовать данное течение. Правда, необходимо иметь в виду, что таблицы повторяемости содержат вероятностные характеристики и для каждого конкретного отрезка времени табличные данные могут не совпадать с наблюдаемыми. Различие будет тем больше, чем меньше период, для которого определяют те или иные характеристики. Как правило, таблицы повторяемости течений составляют для 8 или 16 румбов. При глубинах до 5 м в них помещают данные для двух горизонтов: поверхностного и придонного. При больших глубинах - для горизонтов 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 м и 1 м от дна. В зависимости от специфики исследуемого района выбирают количество пунктов для измерения течений. Для районов с приливами основными характеристиками течений являются гармонические постоянные приливных течений, по которым вычисляют сами течения и составляют таблицы их повторяемости. Гармонические постоянные определяют для четырех основных волн прилива. [2,3]

Задача изучения течений в рамках КУПЗ определяется режимом эксплуатации исследуемого района. Понятно, что имеющаяся информация о течениях в большинстве случаев дает лишь общее представление о циркуляции вод. Поэтому сведения, необходимые для оперативного обслуживания и получения режимных характеристик (включающих и максимальные скорости течений по направлениям, возможные один раз в определенное число лет), могут быть результатом только прямых измерений в период исследований. Для оперативных целей результаты измерений используются непосредственно, а для построения режимных функций распределения скоростей течений они крайне нужны при выполнении гидродинамического моделирования и расчетов на основе синоптического архива. Данные этих же наблюдений позволяют оценить оптимальную пространственную дискретность измерений и определить количество автономных буйковых станций, судов и других технических средств, необходимых на различных этапах исследований.

Для получения надежных данных, пригодных для верификации гидродинамических моделей и расчетных методов, может потребоваться увеличение продолжительности наблюдений. Перед началом натурных измерений необходимо собрать сведения о ранее проведенных наблюдениях в данном районе и общие сведения о режиме течений по всей прилегающей к нему акватории. Для этого следует использовать архивные и другие данные Гидрометслужбы и различных организаций, а также иметь материалы о конфигурации берегов, рельефе дна и об их изменчивости во времени, о составе грунта, флоре и фауне. В конечном счете, задача по изучению течений устанавливается в виде перечня характеристик, которые должны быть получены. При оценке силовых нагрузок, возникающих под воздействием течений, основной задачей является определение наиболее возможной скорости для конкретных направлений течений. Продолжительность наблюдений над течениями для получения характеристик с определенной обеспеченностью зависит от изменчивости течений, которая определяется флуктуацией факторов,

определяющих режим течений в прибрежной зоне (ветер, сток рек, колебания уровня и т.д.). Следовательно, проанализировав изменчивость этих факторов, можно определить возможный диапазон изменений величин течений. Если по результатам измерений можно найти тесную корреляционную зависимость характеристик течений от характеристик определяющих факторов, то можно оценить экстремальные характеристики течений и их повторяемость, используя закон распределения всей совокупности факторов.[1,2,3]

Для районов открытого моря, удаленных от берега более чем на 10 - 15 миль, с глубинами более 30 - 40 м скорости ветровых поверхностных течений могут быть оценены с помощью ветрового коэффициента (K), используя выражение $V = KW$, где V - скорость ветрового течения; W - скорость ветра. В том случае, когда V представлена в см/с, а W - в м/с, то можно считать, что K находится в диапазоне 1,0 - 1,5. Но использование подобного коэффициента для расчета ветровых течений в открытом море правомочно лишь для продолжительного, постоянного во времени и однородного по пространству ветра, что позволяет получить в реальных условиях лишь приближенные данные о течениях. В прибрежных районах подобный метод может быть использован для приблизительной оценки только дрейфовых поверхностных течений. Здесь K зависит от глубины места, распределения плотности воды по вертикали, атмосферной стратификации, поэтому его необходимо определять в каждом случае отдельно. В некоторых случаях путем осреднения можно получить корреляционное уравнение, связывающее скорость течения в точке с параметрами ветра или градиентами атмосферного давления. Для получения осредненных значений течений можно воспользоваться данными наблюдений над уровнем моря на береговых и островных уровневых постах. Градиентная составляющая течений в данной точке моря пропорциональна динамическому наклону его уровневой поверхности. Если береговая черта позволяет вычислить по береговым уровневым наблюдениям относительные уклоны уровня, то метод линейной корреляции позволяет определить зависимость между

составляющими осредненного течения и относительными уклонами уровня по разным направлениям.

Принимая во внимание, что наблюдения над течениями, как правило, производятся эпизодически и в течение сравнительно непродолжительных промежутков времени, а наблюдения на береговых и островных ГМС и ГМП над ветром и колебаниями уровня ведутся в течение многих лет (в несколько сроков, а иногда и ежечасно), то только использование подобных оценок позволяет определить сезонную и межгодовую изменчивость режима течений. В некоторых случаях суммарное течение в прибрежной зоне или на устьевом взморье вызывается несколькими факторами (например, сток реки, ветер), действующими одновременно. В этом случае следует оценивать выборку течений параллельно по многолетним характеристикам двух-трех факторов. Удобно оценивать статистические данные о ветре и течениях в проекциях вектора на меридиан и параллель (в декартовой системе координат) или в проекциях на линию, параллельную берегу и перпендикулярную ему, так как составляющие ветра за длительный период вдоль определенного направления распределяются по нормальному закону. Этим целесообразно пользоваться, например, при расчете переноса вод вдоль берега.

Вывод

В первой главе были рассмотрены теоретические обоснования необходимости измерения основных гидродинамических процессов, имеющих непосредственное влияние на безопасность навигационной обстановки.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ И ТЕЧЕНИЯМИ

2.1. Волнографы

Инструментальные измерения элементов морских волн выполняются с помощью специальной водоизмерительной аппаратуры или волнографов, которые позволяют регистрировать величины, характеризующие волновые движения или измерять их элементы с наибольшей достоверностью. Подобные инструментальные наблюдения используются как для целей информации, так и в случае их систематичности и большой продолжительности, а также для режимных обобщений.

Для статистической обработки при измерении волн необходима регистрация совокупности не менее 150 - 200 волн, следующих друг за другом. Поэтому длительность измерений волнения в точке при среднем значении периода волн от 4 до 8 с должна быть не менее 15 - 20 мин. Причем необходимо учитывать, что при развитии и затухании штормового волнения измерения следует производить с дискретностью 1 - 3 ч. Как известно, частота и высота морских ветровых волн находится в пределах примерно от 0,03 до 10 Гц и от нескольких миллиметров до 25 м. И вполне естественно, что измерять волны в таких широких пределах изменений частот и высот одним каким-либо универсальным прибором практически невозможно. Но для решения основных практических и научных задач достаточно измерение волн с высотами от 0,1 до 25 м и частотами от 0,03 до 1,0 Гц в открытых частях океанов и морей и 0,1-10 м и частотами 0,06 - 1,0 Гц в прибрежных районах. Для таких характеристик волнения возможно использование и какого-то одного универсального прибора.

В настоящее время существует большое количество разнообразных методов и приборов - волномеров (приборы или устройства для измерения элементов волн) или волнографов (приборы для записи волновых колебаний

свободной поверхности моря) для исследования морского волнения. Рассмотрим принцип действия и устройство некоторых типов волноизмерительной аппаратуры, используемой в океанографической практике.

Электродные волнографы включают в себя приборы, датчиками которых являются один или два электрода, погруженных вертикально в воду. По принципу действия можно различить следующие типы электродных волнографов:

Струнные (резистивные) волнографы предназначены для непрерывной записи профиля волн в выбранном масштабе. Датчиком таких волнографов является не окисляемая в морской воде проволока с большим удельным сопротивлением, натянутая обычно на жесткую опору (рис. 6.3), устанавливаемую в прибрежных районах. Проволока заглубляется в воду примерно на половину своей длины. Морская вода служит проводником с малым активным сопротивлением. Пусть $y/\gamma\omega \gg 1$, где y - удельная проводимость морской воды, $410 \cdot 10^{-2}$ 1/Ом-см; γ - относительная диэлектрическая проницаемость морской воды, 7-10-12 Ф/см; ω - угловая частота переменного тока питания, рад/с. Экспериментально доказано, что для питания струнного датчика оптимальная частота тока 136 (Гц) может колебаться в пределах 5 - 8 кГц, так как использование тока высокой частоты способствует устранению обрастания электродов. Поэтому, зная, что $\omega = 2\pi \nu = 2\pi \cdot 5000 = 31400$ рад/с. Отсюда $y/\gamma\omega \gg 1$, т.е. можно сказать, что морская вода для токов звуковой частоты практически в данном случае представляет собой короткозамкнутый провод (изменение расстояния между двумя нихромовыми проволоками в морской воде от 0 до 25 м изменяет сопротивление между ними не более чем на 0,5 Ом). Таким образом, при волнении закорачивается часть проволоки, соответствующая уровню воды, а изменение ее сопротивления пропорционально профилю проходящей волны.

Типичным струнным (резистивным) волнографом является разработанный у нас в стране прибрежный волнограф ГМ-61, предназначенный

для измерения высот (в диапазоне 0,05 - 10 м) и периодов волн. Прибор состоит из проволочного датчика кабельной связи, генератора звуковой частоты для питания датчика (5 кГц), измерительной схемы и аналогового регистратора с возможностью вывода на ЭВМ. В качестве датчика, преобразующего волновые колебания в электрический сигнал, используется высокоомная безокисная нихромовая проволока диаметром 0,3 - 0,4 мм и длиной Юм, которая с концевым грузом подвешивается на эстакадах, свайных пирсах, свайных основаниях и т.д. и погружается при этом в воду на половину своей длины. Датчик включен в измерительную схему, выходной сигнал которой, промодулированный с профилем волновых колебаний водной поверхности, по линии связи (провод П-268 длиной около 500 м) подается на выпрямитель, а затем на регистратор. Интересная реализация использования струнных волнографов для исследования высокочастотной составляющей поверхностного волнения была осуществлена в США. Датчик измерительной системы состоит из нескольких струн, изготовленных из нержавеющей стали диаметром 0,38 мм, длиной около 9 м и скомпонованных по группам. Каждая группа состоит из 3 штук, расположенных по прямой на расстоянии 15 см друг от друга. Причем вертикальная плоскость расположения каждой из групп составляет 90° по отношению к другим группам. Подобное расположение групп позволяет производить измерения кроме амплитуды и периода волнения в диапазоне частот 0 - 10 Гц еще и наклон волны с точностью до 2° и направление распространения волны. Следует отметить, что для успешной эксплуатации такого прибора необходимы специальные схемные решения, тщательный расчет измерительной цепи и трудоемкая калибровка.

Электроконтактные волнографы являются частным случаем резистивных волнографов. Они представляют собой вертикальный ряд пар контактов, расположенных через фиксированное (5-10 см) расстояние на несущем стержне (рейке). Между контактами рейки включены постоянные сопротивления. При изменении уровня воды контакты либо замыкаются, либо размыкаются,

изменяя общее сопротивление цепи. Зная положение контактов относительно уровенной поверхности, можно определить ее возвышение. При уменьшении расстояния между контактами данный тип волнографа приближается по своим характеристикам к струнным волнографам, уменьшая дискретность измерений.

На точность и стабильность таких волнографов влияют брызги, смачиваемость, коррозия, обрастание и загрязнение контактов. Для устранения подобных причин погрешностей М. Т. Миязаки (Япония) предложил конструкцию волнографа, в котором контакты изолированы от воды. Датчик волнографа начинает работать при сжатии гибкого внешнего кожуха с внутренним токопроводящим слоем под воздействием столба воды переменной высоты таким образом, что внутренние чувствительные элементы замыкаются на общий проводник. Подобная конструкция увеличивает долговечность и надежность волнографа. К электроконтактным волнографам относится и разработанный в США радиоволнограф «Волновая вежа». Датчиком здесь служит длинный изолированный металлический стержень с рядом контактов. Стержень установлен на несущей малоподвижной базе - притопленном, свободно плавающем поплавке. Поплавок состоит из нескольких секций пустотелых загерметизированных труб диаметром 150 - 200 мм и общей длиной 20 м. Волнограф рассчитан на измерение волн высотой до 4,5 м. Передача получаемой информации осуществляется по радиоканалу, для чего на несущем бье смонтированы измерительная схема, блок вторичного преобразования и радиопередающая аппаратура. Нашел применение для измерения средних характеристик волнения, особенно в шельфовой зоне, автономный радиоволномер ГЗ-2 с передачей получаемой информации по радиоканалу. Датчиком волнения в устройстве используется электро-контактная вежа. При работах на глубинах более 20 м в качестве несущей опоры датчика использован буй - вежа Фруда. Такой буй изготовлен из легкого алюминиевого сплава марки АМГ-6 в виде длинной полый трубы, составленной из набора герметичных секций с соединительными муфтами.

Автономный радиоволномер ГЗ-2. Для уменьшения собственных вертикальных колебаний буя на волнении на его нижнем конце прикреплены демпфирующий диск и груз. Вся система устанавливается на якоре. Полезная грузоподъемность буя при метацентрической высоте 2 м и высотах волн до 6 м составляет 10 - 15 кг. Общая масса буя не превышает 100 кг. Определение средних характеристик волнения осуществляется в автономном блоке следующим образом. Измеряется время прохождения волн и суммируются высоты этих волн, затем автоматически это время и сумма делится на количество волн. Таким образом, определяют среднюю высоту волн в диапазоне 0,2 - 8 м с ошибкой 6 % и средний период в диапазоне 0,25 - 16 с. Автономность работы устройства - до 1 месяца. Точность и разрешающая способность резистивных и электроконтактных волнографов зависят от стабильности и разрешающей способности источников питания, от точности регистрации напряжения и используемых регистраторов, а также от диаметра датчика.

Емкостные волнографы в простейшем виде представляют собой изолированный, чаще всего тефлоном или углеродосодержащим полиэтиленом, токопроводящий стержень с загерметизированным нижним концом, помещенным в морскую воду. Система: морская вода - диэлектрик - проводник образует своеобразный конденсатор, емкость которого меняется в зависимости от прохождения профиля волны, т.е. зависит от площади обкладок и прямо пропорциональна профилю волны. Если этому конденсатору сообщен определенный известный заряд g , то с изменением емкости C меняется и напряжение U : $U = g/C$. Основное требование к емкостным волнографам - линейное изменение выходного сигнала от профиля волны. Датчик волнографа должен иметь небольшой диаметр для уменьшения погрешностей, обусловленных поверхностным натяжением воды, которое вызывает небольшую разность при измерении емкости в случае быстрого прохождения волны, что особенно важно при измерении волн в более высокочастотной части

спектра. Примером подобного типа волнографа является емкостной датчик для регистрации волн, разработанный в США. Датчик волнографа в виде стального стержня диаметром 1,6 мм и длиной 16 мм, покрытого полистиролом, позволяет измерять высоты небольших ветровых волн. Погрешность измерения не превышает 6 % для частот 0,03 - 28 Гц. Широкий динамический диапазон электронной аппаратуры позволяет производить измерение ряби с постоянной точностью независимо от степени волнения. Недостатком датчика является то, что он не может быть установлен на судне, а требует для своей работы неподвижной опоры.

Можно отметить, что электродные волнографы, выполненные в лучшем своем исполнении, являются эталонными приборами в волноизмерительной технике. Поплавковые волнографы. В качестве датчика для измерения характеристик волнения используются также плавающие поплавки. Поплавки обычно изготавливают в форме вертикального цилиндра и крепят с помощью жестких пружин к несущей конструкции. Переменная архимедова сила, действующая на поплавок при прохождении профиля волны, воспринимается пружинами и преобразуются в непрерывную запись колебаний волнового уровня. Но этот метод не позволяет производить измерения в высокочастотной части спектра.

Примером использования подобного метода может служить волнограф типа Вемельсфельдера с механической передачей перемещений небольшого поплавка, помещенного в перфорированную трубу, при прохождении волнового профиля на регистратор. Измерители гидростатического давления. Измерение давления осуществляется датчиками, расположенными на дне при небольших глубинах или находящимися в фиксированном положении ниже поверхности воды. На каждый датчик при этом действует столб воды и атмосферное давление. Это суммарное давление медленно меняется в связи с наличием в море длиннопериодных колебаний и происходящих атмосферных процессов. Волновой профиль накладывается на эти медленные изменения суммарного

давления. Для измерения поверхностного волнения в этом случае используются различного типа датчики гидростатического давления, общие принципы действия которых приведены в гл. «Наблюдения над колебаниями уровня моря». Волнограф модели 521 фирмы «ГидроПродукт» (США) предназначен для измерения высоты и периода волн при температуре окружающей среды -10 ... 50 °С и является абсолютно автономной системой. В его состав входят полупроводниковый тензометрический датчик, преобразователь, самописец с записью результатов измерений на ленте и блок питания. На ленте самописца воспроизводится легко воспринимаемая аналоговая запись средних характеристик высот волн от 0 до 3 м для средних периодов волн 5 - 20 с. Непрерывная запись амплитуды волны осуществляется в течение 400 с каждые 1000 с. В течение этого промежутка времени определяется средний период волны по среднему времени между двумя моментами пересечения волной нулевого уровня.

Измерительная схема волнографа помещена в анодированную алюминиевую сферу, состоящую из двух разделяемых полусфер с фланцевым соединением. Полусферы, кроме анодирования для предотвращения обрастания, подвергнуты термообработке и покрыты изнутри и снаружи эпоксидной смолой и краской. Диаметр сферы 273 мм, а толщина стенок 12,7 мм. В рабочем положении сфера помещается для удобства эксплуатации в стальную поддерживающую раму, снабженную приспособлением для установки сферы в необходимом положении по отношению ко дну. Высота рамы 667 мм, а длина и ширина составляют 508 мм. Автономность работы волнографа 7 суток, а в случае использования внешнего контейнера с дополнительным блоком питания автономность работы увеличивается до 30 суток. В качестве источника питания используются никель-кадмиевые батареи. Волнограф устанавливают на глубину не более 15 м. Причем его можно устанавливать на дно или на АБС на больших глубинах. Более высокая точность измерения характеристик волнения (не хуже ± 1 % от всей шкалы)

достигнута в аналогичной системе, выпускаемой также фирмой «ГидроПродукт», дистанционном анализаторе волн модели 621-S.

Буйковые волнографы. При использовании волнографов подобного типа датчики характеристик поверхностного волнения располагают или на бую, плавающем на поверхности, или подвешивают к нему. Буйки с подвешенным датчиком волнения используются в основном при расположении датчика гидростатического давления на глубине более половины длины волны. Это вызвано тем, что воздействие ветрового волнения на такую глубину не проникает и гидростатическое давление там постоянно. Оно не зависит от состояния водной поверхности, а датчик давления, подвешенный к бую на такой глубине, воспринимает лишь вертикальные перемещения бую как изменения глубины погружения относительно уровенной поверхности, т.е. как изменения гидростатического давления пропорциональные профилю волны. Передача сигнала на борт судна может осуществляться или по кабелю (волнограф ГМ-16, Россия) или по радиоканалу («Метеобуй» - США и волнограф ГМ-32 - Россия). Следует отметить, что у нас в стране очень большое количество данных о характеристиках волнения, особенно в открытом море, было получено волнографом ГМ-16. На основе этих данных была сформулирована, существующая и сейчас, теория ветрового волнения. Поэтому, несмотря на наличие определенных погрешностей измерений и снятие с производства, конечно же, необходимо привести его описание. Тем более, что он является типичным представителем буйковых волнографов. Волнограф ГМ-16 предназначен для записи профиля волны на ленте самописца и определения высоты и периода волн с судна лежащего в дрейфе или стоящего на якоре. Датчик волнографа на четырехжильном кабеле подвешивается к свободно плавающему на водной поверхности пенопластовому буйку и тем же кабелем типа РШМ длиной 450 м через блок управления и контроля связывается с аналоговым регистратором, находящимся на борту судна.

Основной частью датчика является приемник давления, представляющий собой латунный цилиндр, одной из боковых плоских стенок которого служит гофрированная мембрана из бериллиевой бронзы, припаянная по контуру к корпусу приемника. Внутри его закреплена текстолитовая пластина с наклеенными на ней четырьмя проволочными тензометрами, изготовленными из константана диаметром 0,03 мм и соединенными между собой по схеме равновесного моста постоянного тока. Пластина стойкой и винтом жестко связана с центром мембраны. Колебания мембраны, вызванные изменением гидростатического давления через стойку передаются текстолитовой пластине с тензометрами, что вызывает изменение их сопротивлений и разбаланс моста. Напряжение питания (сухие батареи, находящиеся в блоке управления и контроля) по кабелю через штепсельный разъем подается на одну из диагоналей моста, а сигнал разбаланса моста, пропорциональный изменению гидростатического давления, снимается с другой диагонали моста и по кабелю Датчик подается на регистратор. В нижней части волнографа ГМ-16. датчика помещен штуцер, на котором смонтирован узел компенсатора, состоящий из двух полусфер (оргстекло) и сферического баллона, изготовленного из тонкой эластичной резины. При погружении датчика воздух из баллона компенсатора через штуцер поступает внутрь приемника давления, уравнивая наружное давление на мембрану. Это происходит до достижения рабочей глубины погружения датчика, когда весь воздух компенсатора переходит в приемник давления. В дальнейшем изменение гидростатического давления, вызванное волновыми колебаниями водной поверхности, уже непосредственно воспринимается мембраной.

Недостатком ГМ-16 является то, что при производстве записи волнения судно и буюк с датчиком дрейфуют с разными скоростями, что вызывает необходимость регулярного вытравливания кабеля. Вес вытравленного кабеля, а иногда (особенно при сильном ветре) и нехватка запаса кабеля, приводят к тому, что буюк не повторяет свободно волновой профиль, а как бы срезает

гребни волн. От этого недостатка, в какой то мере, избавлен радиоизмеритель волн ГМ-32 и «Метеобуй», принцип действия которых одинаков. В этих устройствах на бую с большим запасом плавучести размещены радиопередатчик с антенной, преобразователем и блоком питания. Датчик гидростатического давления (аналогичный датчику ГМ-16) тензометрического типа с помощью гибкого кабеля подвешивается под буюм на определенной, заранее заданной, глубине. Получаемая информация по радиоканалу передается или на береговую базу, или на борту судна, где она преобразуется в вид, удобный для дальнейшей обработки и регистрации. При использовании волнографов типа буйков с подвешенным датчиком волнения возникает дополнительная погрешность.

Подобная методика измерений предполагает, что система буй - кабель - датчик колеблется под воздействием волн в строго вертикальном положении. На самом же деле из-за воздействия орбитального движения частиц на волне, особенно в результате ударов разрушающихся гребней волн, буй совершает также колебания в горизонтальной плоскости (до 15 м). Вследствие гибкости кабеля и довольно большого динамического сопротивления его и датчика горизонтальному перемещению в воде, система буй - кабель - датчик не будет сохранять вертикальности и в измерениях высот волн появляется погрешность, которую иногда называют орбитальной. Эта погрешность может достигать 5 - 10 % и является случайной в силу случайного характера воздействия волн на буйковые системы. Волнографы, регистрирующие ускорение волнового движения, включают в себя буй с установленными на нем стабилизированными по вертикали датчиками вертикального ускорения (с пределами измерения $\pm 2g$) - акселерометрами. Сигнал с акселерометра после двойного интегрирования по времени позволяет судить о высоте поверхностных волн. Акселерометры устанавливаются на бую, так как предполагается, что движения буя в точности следуют волновым движениям. Надежность работы измерительной схемы этого типа приборов достигается еще и тем, что вся аппаратура помещается внутри

буй и изолирована от контакта с внешней средой. Такие буй обладают автономностью работы вплоть до года, автоматически с заданной дискретностью по времени, передавая сведения о поверхностном волнении.

Подобные акселерометрические буй используются в различных видах: дрейфующие, теряемые, привязные (к судну или несущему бую), заякоренные с кабельной или радиосвязью. В настоящее время существует несколько вариантов подобного типа приборов. Из них можно отметить «Вейврайдер» фирмы «Датавел» (Нидерланды), «Вейвтрек» фирмы «Эндеко» (США), «Вейвкрейтбуй» фирмы «НБА Контроль ЛТД» (Великобритания) и автономный волноизмерительный буй ГОИНа (Россия). Эти волнографы позволяют измерять параметры ветрового волнения с достаточно высокой точностью даже в штормовых условиях. Однако их конструкции довольно сложны и имеют высокую стоимость. Волномерный буй «Вейврайдер» имеет полый стальной сферический корпус диаметром 70 см и весом 90 кг. Внутри буя в специальной полости, заполненной демпфирующей жидкостью, установлен высокочувствительный акселерометр на демпфированном маятнике для стабилизации его вертикального положения. Период собственных колебаний маятника составляет 40 с. В бую размещены также схема преобразования сигнала датчика, блок питания и УКВ-радиопередатчик, обеспечивающий устойчивый прием информации в радиусе до 50 км. Антенна передатчика - 11-метровый штырь расположена в верхней части буя, в пружинящей опоре. К бую подвешивается балласт, масса которого зависит от ожидаемой скорости ветра, вместо балласта может подвешиваться термисторная цепь. Кроме того, волнограф имеет якорную систему, состоящую из троса, закрепленного в нижней части буя, эластичного элемента и якоря в виде цепи или бетонных блоков. Благодаря размерам, массе корпуса и методике установки волнографа для работы высокочастотное волнение срезается начиная с 0,8 Гц, т.е. исключается возможность измерения волн с периодами меньше 3 - 4 с. Автоматическая обработка результатов измерений на пункте приема

информации позволяет рассчитывать средний период за 10 мин, фиксировать экстремальные и средние значения высоты волн, а также форму волнения.[6,7]

Волнограф «Вейвтрек» конструктивно состоит из поверхностного буя, выполненного из литого алюминия сферической формы, соединенного с помощью жесткой штанги с герметичным контейнером в подводной части. В контейнере на гибкой связи подвешен акселерометр. Собственная частота отклонений акселерометрического датчика от вертикали за высокочастотной границей диапазона частот измеряемых волн составляет около 3 Гц. Гидродинамическое сопротивление движению в воде штанги с контейнером, имеющим специальное оперение из продольных металлических пластин и датчика в контейнере с демпфирующей жидкостью таково, что обеспечивается наиболее благоприятный апериодический режим колебаний датчика относительно вертикали. В остальном он не отличается от волнографа «Вейврайдер». Волнограф «Вейвкрейст» конструктивно выполнен из двух буюв сферической формы. В одном из них, измерительном, размещены акселерометрический датчик с системой низкочастотной маятниковой подвески в демпфирующей жидкости, измерительная схема, блок питания, УКВ-радиопередатчик с антенной в верхней части корпуса. Второй буй, несущий, предназначен для крепления якорной системы. Оба буя связаны между собой штангой, узел крепления которой к бую обеспечивает возможность их относительного поворота.[7]

Основным преимуществом данного волнографа является развязка измерительного буя от якорной системы, что практически приводит к независимости передаточной характеристики прибора от динамических возмущений, вызванной методикой постановки на якорь.

2.2. Гидрометрическая вертушка

2.2.1. История развития гидрометрических вертушек

За всю историю развития гидрологии, для измерений скоростей течения водных потоков, наибольшее распространение получил метод регистрации скоростей течения, с использованием вращения ротора или, по-другому, лопастного винта. Этот метод и предопределил развитие гидрометрических вертушек, как самых простых и надежных устройств, которые, на протяжении вот уже более двух сотен лет являются основными приборами, благодаря которым определяется скорость течения и измеряется расход воды.

На результатах измерений, полученных с использованием вертушек, практически полностью базируется Государственная система учета вод в России и в других странах мира. Повсеместное распространение гидрометрических вертушек, их непрерывное развитие, постепенно привело к практически полному вытеснению других методов измерений.

Создателем гидрометрической вертушки считают немецкого гидротехника Рейнгарда Вольтмана (1767 – 1837 гг.), впервые применившего такой прибор в 1790 г. для определения скорости течения реки Эльбы.[5,6,7]

Вертушка Р. Вольтмана (Рисунок 1.) конструктивно представляла собой крыльчатку состоящую из четырех пластин, наклоненных относительно плоскости вращения и закрепленных на горизонтальной оси вертушки спицами. Закрепленная в открытом корпусе ось вертушки имела червячную передачу и, вращаясь, передвигала шестеренку, которая устанавливалась на шарнирной раме. «Включение» прибора производилось поднятием рамы при помощи троса, вследствие чего происходило сцепление шестерни с осью прибора. На окружность шестерни были нанесены деления, причем, каждый зубец соответствовал одному полному обороту лопастного винта вокруг оси. На раме устанавливался указатель, по которому сумма оборотов определялась как

разность начального и конечного отсчетов, показания которых снимались с шестерни. При этом, время измерений фиксировалось при помощи секундомера.

Механический принцип регистрации числа оборотов лопастного винта, очень быстро был заменен на электрическую сигнализацию, замыкающую электрическую цепь через заданное количество оборотов.

Однако, до 1950-х гг. регистрация времени измерения производилась при помощи секундомера. А механический принцип, предложенный Р. Вольтманом, нашел применение в ряде других устройств (например, вертушка Экмана – Мерца, измеритель речных струй Лелявского, вертушка морская модернизированная ВМ-М).

Эволюция гидрометрической вертушки шла по ряду направлений модернизации её отдельных составных частей:

- Модернизация формы и размера ротора (крыльчатки, чашечного устройства, или лопастного винта). Сюда также входит оптимизация компонентного эффекта, а также инерционности и чувствительности.
- Оптимизация размеров, формы прибора и стабилизатора направления.
- Совершенствование принципов формирования выходного сигнала.
- Разработка и оптимизация счетно-регистрирующего устройства.
- Разработка и оптимизация другого вспомогательного оборудования.

Рассмотрим подробнее каждый из этапов процесса оптимизации размера и формы ротора:

1. Использование крыльчатки- т.е. лопастей, наклоненных под разным углом относительно оси вращения. К устройствам с таким типом ротора относят, например, вертушку Р. Вольтмана, вертушку Экмана – Мерца, и вертушку морскую модернизированную ВМ-М. Однако, от использования роторов данного типа, в настоящее время, полностью отказались.

2. Использование чашечного устройства. На данный момент, чашечные вертушки с вертикальной осью являются главным и основным типом приборов

Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey). Прототипом чашечных вертушек используемых в USGS является «вертушка Прайса» (1885г.) с вертикальной осью вращения, червячной передачей, и которая закрепляется в подпятниках. Эти вертушки работают, благодаря тому, что движущаяся жидкая масса (вода) оказывает наибольшее давление на вогнутые поверхности, чем на выпуклые. Чашки, в количестве от 4 до 6 штук, имеют форму конусов, полушарий или параболоидов, и располагаются вершинами по окружности одна за другой. [5,6]

В сравнении с лопастными винтами, преимуществом чашечного устройства является сохранение компонентных свойств при любом наклоне струй. Недостатком же чашечных приборов является то, что они фиксируют только максимальную скорость потока. Чашечное устройство может быть изготовлено из пластмассы или сплавов металлов: карбида титана или вольфрама.

3. Использование лопастного винта. Этот тип ротора является наиболее распространенным в конструкциях гидрометрических вертушек разных стран. Вертушки с лопастным ротором конструктивно представляют собой обтекаемое тело параболической формы с винтовой поверхностью.

По способу расположения ротора вертушки на оси прибора принято выделять:

- консольные (ось неподвижна) вертушки;
- осевые (ось вращается) вертушки;

По способу расположению оси принято выделять приборы:

- С вертикальной осью;
- с горизонтальной осью.

Рассматривая эволюцию лопастного винта вертушки, необходимо выделить такие важные факторы, повлиявшие на формы и размеры роторов,

как, оптимизация компонентного эффекта, инерционность и чувствительность прибора.

Компонентность – это способность гидрометрической вертушки измерять местную скорость водного потока, направленную под углом по отношению к оси вращения лопастного винта или ротора вертушки.

На практике, компонентность выражается либо в величинах погрешности при заданной косине струй, либо в величинах угла, в пределах которого гидрометрическая вертушка способна регистрировать скорость с допустимой погрешностью.

Существует множество факторов, которые определяют компонентность вертушек:

- геометрический шаг лопастного винта (при увеличении шага происходит ухудшение компонентных свойств, однако, при этом повышается чувствительность);
- диаметр лопастного винта (при уменьшении диаметра происходит улучшение компонентных свойств);
- величина угла атаки лопастного винта (т.е. угол, образующийся между вектором скорости потока и вектором нормали к поверхности лопастного винта);
- дисковое отношение (это отношение площади проекции винта на плоскость, перпендикулярную его оси вращения к площади круга);
- угол закрутки (угол разворота лопасти);
- относительный диаметр (отношение диаметра лопастного винта к его гидравлическому шагу);
- относительная срезка лопасти (т.е. угол, образуемый гранями лопастей в привершинной части винта);
- шероховатость поверхности винта (она определяется материалом, из которого изготавливается ротор или покрытием поверхности);

- наличие разного рода струенаправляющих решеток или колец в поле действия лопастного винта.

2.2.2. Примеры вертушек

И конечно же, естественней будет начать с наиболее широко используемых у нас в стране до последнего времени вертушки морской модернизированной (ВММ) и первого отечественного серийного образца автономных измерителей течений БПВ-2 - самописца Ю. К. Алексеева (буквопечатающая вертушка) (Рис. 2.2.2.1). Измерители течений типа ВММ - приборы разового действия, т.е. после получения одного измерения на горизонте наблюдений вертушка поднимается на борт судна для снятия отсчетов и перезарядки. Вертушка морская модернизированная состоит из литой рамы с вертикальной осью подвеса, обеспечивающей возможность вращения вокруг этой оси. На верхнем конце оси неподвижно укреплен направляющий стержень, имеющий в верхней части прорезь для троса лебедки, в огон которого пропускается винт с барашком. На нижнем конце оси имеется ушко для подвеса поддона, уменьшающего снос прибора течением. На двух консолях рамы закреплен защитный кожух лопастного винта в виде 245 кольца, предохраняющий винт от механических повреждений при работе с вертушкой.

Лопастной винт - из трубчатой оси со ступицей, к которой прикреплены четыре спицы с лопастями, расположенными под углом 45° к оси. Ось лопастного винта имеет червяк, с которым при помощи переключающего механизма сцепляется червячная шестерня счетчика оборотов. Переключающий механизм, приводимый в действие посыльными грузами, вводит червячную шестерню счетчика оборотов в зацепление с червяком лопастного винта в том случае, когда ВММ находится на заданном горизонте, а первый посыльный грузовик, опущенный с судна, ударяет по муфте

вертикальной оси, при этом срабатывает спусковой механизм, включающий счетчик оборотов. [5,6.7]

Через определенный промежуток времени, зависящий от скорости течения, по тросу посылается второй посыльный грузовик, выключающий счетчик оборотов, который заключен в прямоугольную коробку, состоит из трех шестеренок со стрелками - указателями (по верхнему циферблату отсчитываются единицы и десятки оборотов, по среднему - сотни, а по нижнему - тысячи 246 оборотов).

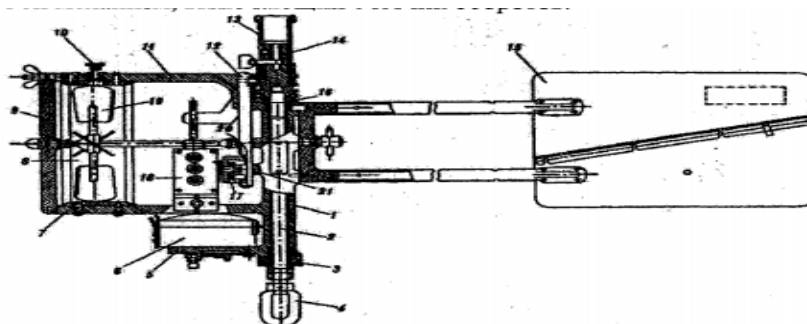


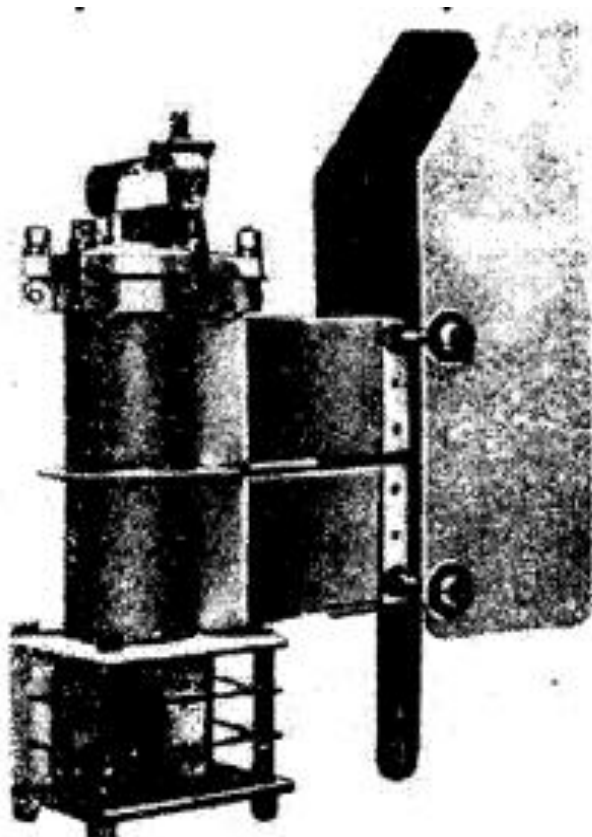
Рисунок.2.2.2.1 – БПВ-2 - самописца Ю. К. Алексеева (буквопечатающая вертушка).

Над счетчиком оборотов расположена трубка-магазин с запасом латунных шариков диаметром 3 мм (20 - 23 шт.). Нижний шарик помещается в одну из трех выемок, находящихся друг от друга под углом 120° на диске, укрепленном на оси верхней шестеренки счетчика оборотов. По счетчику оборотов получают данные о скорости течения в оборотах в секунду, а затем по градуировочной кривой переходят к скорости в сантиметрах в секунду. Под счетчиком оборотов на кронштейне укреплена компасная коробка. Каждый раз, когда при вращении верхней шестеренки счетчика оборотов и диска под концом трубки-магазина оказывается выемка, в которую попадает один шарик и переносится к отверстию нижней трубки, а из нее в компасную коробку, имеющую в верхней, открывающейся, крышке отверстие для прохода шариков. В центре компасной коробки на игле расположена магнитная стрелка, северный

конец которой имеет желоб, а в верхней, центральной, части стрелки находится чашечка со сливом в желоб, расположенная под отверстием. Через каждые 33,3 оборота пропеллера в компасную коробку попадает один шарик и по желобу скатывается в один из секторов компасной коробки, разделенной перегородками на 36 секторов по 10°, пронумерованных от 0 до 35. [4,6,7]

Таким образом, по окончании наблюдений на палубе можно видеть, какие секторы компасной коробки в процессе измерений находились под северным концом магнитной стрелки, т.е. куда было направлено течение. К задней части латунной рамы крепится руль, имеющий съемные наклонные пластины. Лопастной винт в виде пропеллера является наиболее рациональной конструкцией ввиду уменьшения площади лопастей вблизи ступицы. Эта же конструкция является наиболее простой с технологической точки зрения.

Самописец течений БПВ-2 - прибор механического типа, предназначенный для автоматического измерения и регистрации скорости и направления на глубинах до 1200 м, может использоваться как с борта судна, так и на автономных буйковых станциях. Регистрация получаемой информации (скорость в см/с, направление в десятках градусов) осуществляется на бумажной ленте, запаса которой хватает на 1440 отпечатков скорости и направления течения. Датчик скорости - 4-лопастной винт с вертикальной осью вращения и экраном помещен в нижней части измерителя. Вращение лопастного винта внутрь корпуса прибора передается с помощью магнитной муфты. Направление течения (ориентация прибора по потоку) измеряется магнитным компасом. Для установки по потоку самописец снабжен двумя развитыми рулевыми пластинами. Дискретность измерений задается заранее с помощью специальных минутных дисков и может быть 5, 10, 15, 20, 30 и 60 мин. Автономность работы прибора при использовании 60 - минутного диска - 60 суток.



(Рисунок.2.2.2.2) – Самописец течений БПВ-2

Имеющиеся модификации измерителей типа БПВ обладают некоторыми различиями в конструкции корпуса прибора и, кроме того, БПВ-2 (Рис.2.2.2.2) (рассчитан на глубины до 250 м и снабжен чашечным анемометрическим датчиком скорости также с вертикальной осью. ЭСТ (электрофицированный самописец течений) аналогичен БПВ-2, но снабжен емкими катушками для бумажной ленты электродвигателем, электрочасами и батареей питания вместо стальной пружины патефонного типа и обычных 248 часов БПВ, что позволяет увеличить автономность работы прибора до одного года; ЭСТ-А - подобен ЭСТ, но имеет датчик скорости пропеллерного типа с горизонтальной осью вращения.

Вывод

В данной главе были рассмотрены виды оборудования, которое ранее использовалось для измерения гидродинамических характеристик. Рассмотрены принципы его работы и устройство, а также классификация.

ИЗМЕРИТЕЛЬНО – ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЙ И МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДОПЛЕРОВСКОГО ЭФФЕКТА

3.1. Акустический доплеровский измеритель течения (ADCP) Workhorse Sentinel

ADCP измеряет скорость и направление течений в океане используя эффект который называется «Доплеровским смещением». Любопытнейший пример доплеровского эффекта – звук гудка поезда. Когда поезд приближается, звук гудка кажется выше. Когда поезд удаляется звук гудка напротив кажется ниже. Изменения высоты звука пропорциональны скорости поезда. ADCP излучает последовательность высокочастотных звуковых импульсов, которые отражаются от движущихся в воде частиц (это может быть планктон, или седименты). В зависимости от того движутся частички по направлению от источника звука или к нему, частота или иными словами высота звука отражённого сигнала, принимаемого ADCP выше или ниже.

Частички, движущиеся, от инструмента производят сигнал с меньшей частотой и наоборот. Поскольку частички передвигаются с той же скоростью что и вода, в которой они находятся, сдвиг частоты пропорционален скорости звука. ADCP обладает четырьмя акустическими излучателями, которые излучают и принимают акустические импульсы в четырёх направлениях.

Тригонометрические соотношения используются для перевода отражённого сигнала, полученного четырьмя излучателями в течения относительно земных координат (север-юг, запад-восток, верх-низ). Поскольку излучаемый звук может проникать на довольно большую глубину, ADCP способен одновременно измерять течения на нескольких горизонтах. Таким образом имеется возможность определить скорость и направление течения от поверхности до значительной глубины. [8,9,10]

Автономная модель SENTINEL - наиболее популярный и универсальный акустический доплеровский профилограф (ADCP) (Рис.3.1.1) от Teledyne RD Instruments.

Прибор используют для решения различных задач более чем в 50 странах мира.



Рисунок.3.1.1 – профилограф (ADCP)

Имея возможность профилировать толщу вод от 1 до 165 м, ультразвуковой Sentinel ADCP идеально подойдет для широкого спектра задач. Благодаря широкополосной технологии обработки сигнала Sentinel получает высокоточные данные, а низкое энергопотребление позволяет проводить измерения в течение длительного времени. Компактный и легкий Sentinel просто разместить на буях, судах или установить в раме на дне. Измерения в реальном времени можно получить через подводный кабель или акустический модем; прибор имеет внутреннюю память и батареи питания для автономной работы. Sentinel, также можно оснастить датчиком давления, системой слежения за дном и модулем измерения волнения. [9,10]

Отличительными чертами данного устройства являются:

- Универсальность: Автономный или онлайн, заякоренный или перемещаемый Sentinel позволяет получать высокоточный профиль течений практически в любых условиях.
- Прост в оснащении: Sentinel был разработан с учетом увеличения практического интереса измерений. Прибор просто оснащается датчиком давления, модулем расчета волнения и функцией слежения за дном.
- Высокая точность: Широкополосная технология обработки сигнала предоставляет данные с незначительным уровнем шума, высокой точностью и низкими энергозатратами.
- 4-лучевая система: Запатентованный 4-лучевой излучатель увеличивает точность и надежность измерений, создавая дополнительные массивы данных для расчета возможных погрешностей.

Технические характеристики устройства предоставлены в данной таблице
(3.1.2)

Таблица 3.1.1 – Технические характеристики устройства ADCP Sentinel

Профилирование	Размер ячейки ¹	Диапазон ² 12 м 1200кГц		Диапазон ² 50 м 600кГц		Диапазон ² 110 м 300кГц	
	Разрешение 0.25м	Диапазон ³ 11–15 м	Станд. откл. ⁴ 12.9 см/с	Диапазон ³ 38–52 м	Станд. откл. ⁴ 12.9 см/с	Диапазон ³ 83–117 м	Станд. откл. ⁴ 12.8 см/с
	0.5м	12–16 м	6.1 см/с	42–56 м	6.1 см/с	см. ссылку ¹	
	1м	14–17 м	3.0 см/с	46–61 м	3.0 см/с	93–128 м	6.1 см/с
	2м	15–19 м ²	2.0 см/с	52–67 м ²	2.0 см/с	104–141 м	3.0 см/с
	4м	см. ссылку ¹				116–154 м ²	2.0 см/с
Дальний режим	2м	24 м	3.8 см/с				
	4м			70 м	4.2 см/с		
	8м					165 м	4.2 см/с
Параметры	Погрешность скорости	0.3% скорости течения относительно ADCP ±0.3см/с		0.3% скорости течения относительно ADCP 0.3см/с		0.5% скорости течения относительно ADCP 0.5см/с	
	Погрешность скорости	0.1 см/с		0.1 см/с		0.1 см/с	
	Диапазон	±5м/с (по умолч) ±20м/с (макс)		5м/с (по умолч) 20м/с (макс)		5м/с (по умолч) 20м/с (макс)	
	Количество ячеек	1–255		1–255		1–255	
Рассеивание сигнала	Частота измерений	До 10 Гц		До 10 Гц		До 10 Гц	
	Разрешение по вертикали			В зависимости от величины ячейки			
	Динамический диапазон			80 дБ			
Излучатель и связь	Погрешность			±1.5 дБ			
	Угол луча			20°			
	Конфигурация излучателя			4-лучевая выпуклая			
	Внутренняя память			Два слота под карты PCMCIA; одна карта включена			
Питание	Связь			RS-232 или RS-422; формат вывода ASCII при 1200-115,200 бод			
	Постоянный ток			20–50 В пост. тока.			
	Количество батарей			1 щелочная батарея питания			
	Вольтаж батарей			42 В пост. тока (новая) 28 В пост. тока (недостаточная)			
Питание	Объем батарей			450 Вт/часов			

3.2. Измерительный комплекс на базе доплеровского профилометра RDCP600

Прибор RDCP600 является доплеровским профилографом течений среднего диапазона дальности измерений с рабочей частотой 600 кГц для работы в автономном или on-line режиме записи. Работая на основе доплеровского эффекта RDCP600 нечувствителен к обрастанию и очень надёжен. [10,11]

RDCP 600 может использоваться в широкой области приложений. Его можно закрепить на дне в специальной раме или подвесить на тросе, а так же установить на причале или другом сооружении, ориентированном для зондирования как вверх так и вниз.

Основные области применения:

- В исследованиях климата, используя размещения на тресе до глубин в 2000м
- В портах и гаванях в системе управления судоходством и для выдачи предупреждений о состоянии моря.
- В рыбоводстве для мониторинга течений, распространения сбросов и контроля качества воды.
- Для контроля загрязнения с целью мониторинга течений, переноса взвесей и наносов, а также качества воды в районах дноуглубительных работ и расположения морских платформ нефтегазодобычи.

Несколько профилей одновременно: инструмент может быть сконфигурирован так, чтобы получать несколько профилей одновременно для обеспечения оптимальной гибкости обработки.

Профили от горизонта прибора или от поверхности моря: Вы можете получать профили течений с отсчётом и от прибора и от поверхности моря в одной конфигурации.

Поверхностная ячейка: Для измерений, выполненных в поверхностном слое воды.

4 дополнительных гидрологических датчика могут быть установлены на верхней панели прибора, делая RDCP3600 комплексным инструментом для экологических исследований. Компенсация наклона: Развитая схема векторной компенсации наклона с подстройкой луча Легко настраиваемый прибор: Встроенные средства конфигурации под ОС Windows CE. Емкость памяти для хранения данных стандартная PC или MMC-карта до 2 GB

Вывод результатов измерений в реальном времени в формате PPC4, через интерфейсы K8-232 или K8-485. RDCP600 использует технологию управления Active X

Моментальный анализ данных программное обеспечение камеральной обработки данных RDCP Studio (не для реального времени) с возможностями двух и трёхмерной графики для быстрого анализа данных, а также ПО GeoView

на основе Microsoft SQL Server для Web-интерфейса при on-line режиме регистрации.

Стандартные измеряемые параметры: скорость и направление течений, уровень сигнала и угол наклона прибора.

RDCP можно настроить так, чтобы получать данные одновременно по нескольким профилям различной конфигурации для достижения оптимального результата. Каждый профиль задаётся со своим размером ячеек и их перекрытием, и может привязываться по глубине к уровню установки прибора или к поверхности воды. Если профиль привязан к уровню прибора, то расстояние от прибора до начала профиля поддерживается постоянным - такой режим обычно используется на глубокой воде, когда поверхность воды находится достаточно далеко или если необходимо изучать течения на больших глубинах у дна.

Профили с отсчетом от поверхности принимаются с постоянным расстоянием от поверхности воды до начала профиля. Чтобы добиться этого, в приборе RDCP600 используется высокоточный датчик давления для расчёта расстояния от прибора до поверхности воды. Такой режим построения профилей особенно эффективен при измерении течений вблизи поверхности или для контроля приборов скорости течения на определённой глубине[9,10]

Алгоритм обработки даёт возможность расширять ячейки так, чтобы они перекрывались (см. рисунок справа). Это позволяет повысить вертикальное разрешение без ухудшения качества данных. Ещё одним преимуществом перекрытия является возможность точной настройки положения нижней или верхней ячейки, так, чтобы измерения можно было проводить максимально близко к поверхности, при этом избегая проблем с помехами на боковых лепестках. Степень перекрытия ячеек может быть от нуля (нет перекрытия) до 90% (соседние ячейки на 90% перекрываются).

Векторная компенсация наклона с подстройкой луча:

В RDCP600 использован эффективный алгоритм компенсации наклона вертикальной оси прибора, позволяющий получить достоверные горизонтальные составляющие течений, даже если прибор наклонён. Регистрируемые направление курса, продольные и поперечные отклонения от вертикали встроены в систему трёхмерной матрицы вращения, по которой рассчитывается точное горизонтальное расстояние до данной ячейки по каждому лучу. Если прибор наклонён, то ячейки, расположенные в луче, направленном ближе к вертикали, перемещаются ближе в прибору, а ячейки, расположенные в лучах с большим отклонением, сдвигаются от прибора.

Преимущество такой схемы состоит не только в том, что отслеживается требуемый горизонтальный уровень, но и в предотвращении роста влияния боковых лепестков диаграммы направленности, вызываемого, в случае наклона прибора, запретной зоной вблизи поверхности. Алгоритм компенсации наклона срабатывает при каждом импульсе и работает при углах наклона до 20 градусов.

Учёт скорости звука в воде важен в доплеровских измерениях течений. КПСР600 может использовать или фиксированное значение скорости звука, или скомпенсированное за счёт учёта одного и более параметров: температуры, электропроводности, гидростатического давления. Температура может быть измерена отдельным датчиком 4050, или как второй параметр в датчиках проводимости 3919 и давления 4017. Для компенсации электропроводности можно использовать датчики 4019 или 3919, а для компенсации давления - датчик 3187.

Требуется лишь несколько секунд, чтобы выгрузить данные измерений из прибора в фирменное программное обеспечение RDCP Studio для анализа и просмотра сохранённых параметров.

Движение волн на поверхности моря приводит к изменению давления на глубине установки прибора. Величина наблюдаемых изменений давления

зависит от периода волны на поверхности (T) и глубины размещения датчика.

В RDСР600 запрограммирован расчет параметров волн на основе данных измерений высокоточным датчиком давления с выборкой с частотой 2 Гц.

Регистрируемые параметры волн:

- Значимая высота волн
- Максимальная высота волн
- Средний период
- Период спектрального максимума
- Средний период пересечения нулевой поверхности
- Период энергетического спектра
- Крутизна волн
- Нерегулярность спектра
- Период авторегрессии
- Спектр волнения
- Временные серии измерений

Возможность регистрации параметров волнения наряду с другими характеристиками морской среды с помощью КПСР600, вооружает пользователя компактной надёжной и удобной системой мониторинга состояния моря.

Графики и диаграммы параметров волн можно получить в RDСР Studio.

Из этого программного комплекса их можно легко копировать в публикуемые материалы или использовать в исследовательских целях. [10,11]

В апреле 2004 г. были проведены полевые испытания прибора RDСР600 размещённого на буре сбора данных CMB 4280 в районе Бергена (Норвегия). Для сравнения ниже RDСР был установлен точечный регистратор RCM 9. Испытания проводились фирмой AADI. Устройства RCM производятся достаточно давно и зарекомендовали себя как надёжные и точные измерители. Прибор RDСР600 базируется на том же акустическом принципе, поэтому

сравнение данных RCM и RDCP служит также подтверждением достоверности данных нового прибора.

RDCP600 размещался на глубине 6 м ориентацией вниз, а устройство RCM9 находилось на глубине 21 м ниже поверхности воды. Расстояние от дна до поверхности воды составляло 46 м. Период работы приборов - 14 дней. На рисунке внизу справа показана схема постановки. Конфигурация режимов работы RDCP600: Пакетный режим, размер ячейки - 2 м, длина импульса 2 м, перекрытие ячеек 50%, 300 акустических посылок, интервал записи 10 минут.

RCM 9: Пакетный режим, интервал записи 10 минут.

Сравнение данных от RCM 9 и RDCP600

Для сравнения результатов измерений выбирались данные RDCP, относящиеся к горизонту установки RCM, т.е. на глубине 21 м (ячейка №13). На графике представлены результаты измерений скорости течения в см/с - RCM (красный цвет) и RDCP (зеленый). Хорошо видно, что результаты измерений обоими приборами практически совпадают.

Результаты измерений с помощью RDCP600 в Балтийском море:

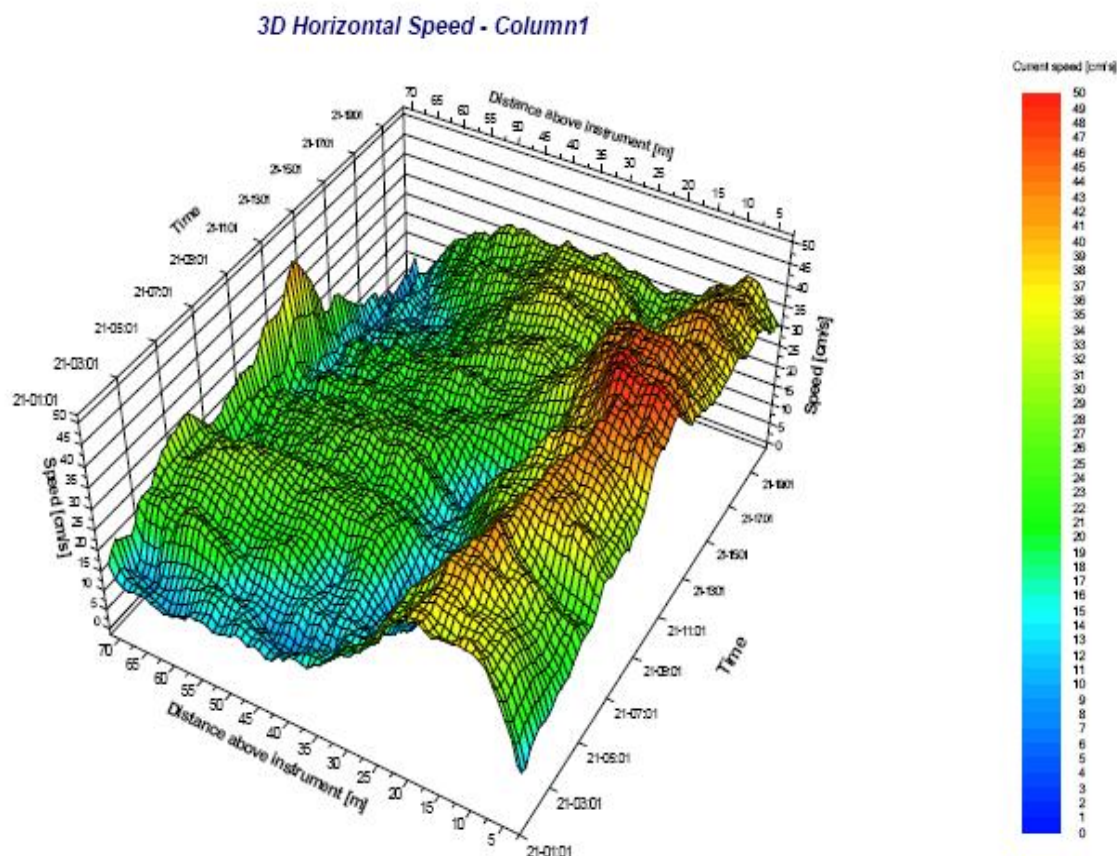


Рисунок.3.2.1 – Трёхмерный график горизонтальной скорости течения

На трёхмерном графике показана горизонтальная скорость течений [см/с] при постановке прибора в Балтийском море. В течение всего времени измерений хорошо виден слой (в виде горного хребта) сильных течений на горизонте около 20 м выше инструмента.

Основные характеристики RDCP 600 представлены в данной таблице (табл.3.2.1):

Таблица 3.2.1 – Основные характеристики RDCP 600

<u>Профилометр течений</u> Акустическая частота 606 кГц Число лучей 4 луча Обработка: параметрическая модель ARMA Угол наклона луча 25° Диапазон угла наклона¹ ± 20° Диапазон скоростей² 0 – 500 см/сек Горизонтальная точность³ 0,5 см/сек, ±1,5% от отсчёта Вертикальная точность 1,0 см/сек Статистический шум одного импульса⁴ 4,0 см/сек Диапазон: при низкой мощности⁵ от 35 до 70 м при высокой мощности⁵ от 40 до 80 м Мертвая зона для моделей⁶ до 300 м – 1 м до 2 000 м – 2 м Размер ячеек: от 1 до 10 м (с шагом 0,1 м) Перекрытие ячеек: от 0 до 90% Максимальное число ячеек в одном профиле 100 Максимальное суммарное количество ячеек 150 Уровень электропотребления Низкий - 20 Вт Высокий - 80 Вт Измеряемые параметры Горизонтальная скорость, вертикальная скорость, стандартное отклонение отдельного импульса, уровень сигнала, количество импульсов, затухание импульса, направленность излучателя, наклон и вращение	<u>Дополнительный кварцевый датчик давления</u> Интервал выборки от 10 до 60 сек Диапазоны по заказу 0 – 700 кПа (до 60 м) 0 – 3500 кПа (до 340 м) Точность ±0,03% всей шкалы
<u>Компас</u> Направление от 0° до 360° Точность ±4° при наклоне от 0° до 35°	<u>Макс. кол-во доп. датчиков подключаемых одновременно - 4 из следующего набора:</u> Датчик температуры воды Датчик гидростатического давления Оптический датчик кислорода Датчик электропроводности воды Датчик мутности воды
<u>Инклинометр</u> Наклон ±45° Точность ±1,5°	<u>Измерение волнения</u>⁹ (опция при установленном датчике давления) <i>По давлению</i> Высота волн синхронно с измерениями течений <i>По акустическим измерениям (опция по запросу)</i> Высота и направление волнения попеременно с измерениями течения Параметры: • значимая и максимальная высота волн • средний и максимальный период волнения • период энергетического максимума • средний период пересечения нулевого уровня • нерегулярность и крутизна волны • энергетический спектр волнения • распределение волновой энергии по направлениям • направление максимума • среднее направление волнения
<u>Интерфейс RS-485</u> Тип связи Дуплексная Максимальная длина кабеля⁸ 1400 м Скорость обмена 38 кБод <u>Пример текущего расхода энергии</u> Диапазон 60 м^{10 11} - ток 60 мА <u>Вход питания</u> 7 – 14 В пост. тока <u>Вход мощного питания</u> 13 – 42 В пост. тока	<u>Размеры и масса</u> D (диаметр) 160 мм (с защитным ободом 187 мм); H (высота) 580 мм Масса в стандартной версии (до 300м) в воздухе - 19 кг в воде – 12 кг Масса в версии (до 2000м) в воздухе - 22 кг в воде – 14,6 кг Рама 4110 в воздухе - 12 кг в воде – 10,2 кг Рама 4110 со скобами и защитными стержнями в воздухе – 15,5 кг в воде – 13,2 кг

На основе вышеописанного можно сделать вывод, что Измерительный комплекс на базе доплеровского профилометра RDCP600 имеет более широкий спектр решаемых задач по получению гидродинамических данных, а также, исходя из своих габаритов, является более компактным. Стоит отметить, что RDCP600 позволяет проводить измерения для гораздо большего диапазона скоростей. В свою очередь, акустический доплеровский измеритель течения (ADCP) Workhorse Sentinel имеет гораздо более низкий процент погрешности

при измерении скорости течения. Это связано с его более узкой направленностью.

Вывод

Исходя из сравнения двух данных приборов, можно сделать вывод, что RDСР 600 является наиболее предпочтительным выбором для решения задач по измерению гидродинамических характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение гидродинамических характеристик, таких как скорости течения и морского волнения являются основными характеристиками для обеспечения наблюдения за навигационной обстановкой судов и обеспечения её безопасности.

В ходе работы были описаны теоретические обоснования необходимости измерения вышеперечисленных гидродинамических характеристик, рассмотрены приборы для решения данных задач, а также произведено сравнение двух приборов на основе их технических характеристик и области использования

В ходе сравнения были сделаны следующие выводы.

1. Акустический доплеровский измеритель течения (ADCP) Workhorse Sentinel является более точным и подходящим для измерения скорости течения, благодаря своей узкой направленности.
2. Измерительный комплекс на базе доплеровского профилометра RDCP600 охватывает гораздо больший спектр возможностей по измерению гидродинамических характеристик, а так же более удобен в использовании благодаря своему интерфейсу.
3. Измерительный комплекс на базе доплеровского профилометра RDCP600 наиболее предпочтителен для решения задач по наблюдению за состоянием и навигационной обстановкой судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин В.П. Океанологические наблюдения в прибрежной зоне моря. Учебное пособие. - СПб., изд. РГГМУ, 2007. – 434 с.
2. Показеев К.В., Чаплина Т.О., Чашечкин Ю.Д. Оптика океана: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 216с., ил.
3. Костяной А.Г., Терзиев Ф.С., Гинзбург А.И., Заклинский Г.В., Филиппов Ю.Г., Лебедев С.А., Незлин Н.П., Шеремет Н.А. Южные моря. Росгидромет. 2008. С. 149-167.
4. В.П.Коровин, В.М.Тимец. Методы и средства гидрометеорологических измерений: Учебное пособие – СПб., изд. Гидрометеиздат, 2000. – с. 310.
5. В. П. Коровин, Е. И. Чверткин. Морская гидрометрия: Учебное пособие – СПб., изд. Гидрометеиздат, 1988. – с. 264.
6. <http://www.monashscientific.com.au/Hydrometry.htm>
7. В.Д. Быков. Гидрометрия., изд Гидрометеиздат, 1977г — стр. 153
8. directindustry [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.directindustry.com>, свободный. – загл. с экрана. – яз. Англ.
9. Uniquegroup [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uniquegroup.com>, свободный. – загл. с экрана. – яз. Англ.
10. tsd-industry [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tsd-industry.ru/manufacturers>, свободный. – загл. с экрана. – яз. Англ.