

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды
(Росгидромет)**

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

РД
_____ –
2018

**УКАЗАНИЯ (руководство) ПО РАСЧЕТУ РЕЖИМНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ.**



Обнинск
Издательство «Артифекс»
2018

Предисловие

- 1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» (ФГБУ «ГОИН»)
- 2 РАЗРАБОТЧИКИ И.М. Кабатченко – доктор географических наук, зав. лаб. ветрового волнения ФГБУ «ГОИН», (руководитель разработки); Н.А. Дианский - вед. науч. сотруд. ФГБУ «ГОИН», докт. ф.м.-н. наук (соисполнитель-разработчик, выполнивший составление Приложений А и Б); А.Р. Введенский – ответственный исполнитель-разработчик вед. науч. сотруд. ФГБУ «ГОИН», канд. техн. наук. (редактирование и техническое оформление РД); соисполнители-разработчики: М.В. Резников – науч. сотруд. ФГБУ «ГОИН» (разделы 1,2,3 и Приложение Д), В. В. Фомин – науч. сотруд. ФГБУ «ГОИН» (Приложение А и Б); Г.И. Литвиненко – ген. директор НПК «МорТрансНииПроект», проф., докт. техн. наук (раздел 4 и 5); А.Г. Литвиненко – инженер НПК «МорТрансНииПроект», (раздел 4 и 5); В.Г. Полников – вед. науч. сотруд. «Институт физики атмосферы РАН» (Приложение В)
- 3 СОГЛАСОВАН с Федеральным государственным бюджетным учреждением «НПО «Тайфун» Росгидромета (ФГБУ «НПО «Тайфун») **письмом от 00 _____ 201__ года № 00-00/0000**, Управлением мониторинга загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ (УМЗА) Росгидромета **письмом от 00 _____ 201__ года № 20-50-000**
- 4 ОДОБРЕН ЦМКП 00 _____ 201__ года, протокол № _____
- 5 УТВЕРЖДЕН Руководителем Росгидромета **А.В. Фроловым 00 _____ 201__ года**
- 6 ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета **от 00 _____ 201__ года. № 000**
- 7 ЗАРЕГИСТРИРОВАН ФГБУ «НПО «Тайфун» от 00 _____ 201__ года за номером РД _____ - 2018
- 8 ВЗАМЕН Методические указания ГОИН, вып. 42. Расчет режима морского ветрового волнения. - М.: Гидрометеоиздат, 1979
- 9 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2022 год

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ 5 лет

СОДЕРЖАНИЕ

1. Область применения	5
2. Нормативные ссылки	6
3. Термины, определения и сокращения	8
4. ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛН В РАЗЛИЧНЫХ АКВАТОРИЯХ	17
Общие положения	17
Элементы волн на глубоководной акватории	18
Элементы волн на мелководной акватории	20
Элементы волн в зоне трансформации	20
Элементы волн в прибойной зоне	23
Элементы волн на огражденных акваториях	24
5. РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН В РАЗЛИЧНЫХ АКВАТОРИЯХ	26
Общие положения	26
Оперативные характеристики ветрового волнения	26
Шторма и окна погоды	28
Гидрометеорологические помехи	28
Расчетные характеристики ветрового волнения	29
Расчетные режимные характеристики в глубоководных и мелководных акваториях	29
Расчетные режимные характеристики в зоне трансформации, в прибойной зоне и на акваториях с ограждениями	30
Расчетные режимные характеристики в тропических циклонах	30
6. НОМЕНКЛАТУРА РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ	33
Оперативные характеристики ветрового волнения	33
Расчетные характеристики ветрового волнения	36

Совместные характеристики ветрового волнения	38
ПРИЛОЖЕНИЕ А (рекомендуемое) РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА и МОДЕЛИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (рекомендуемое) РАСЧЕТНЫЕ УРОВНИ ВОДЫ и МОДЕЛИ МОРСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ	44
ПРИЛОЖЕНИЕ В (рекомендуемое) МОДЕЛИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (рекомендуемое) РАСЧЕТ РЕЖИМА ВОЛНЕНИЯ	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (справочное) РЕКОМЕНДУЕМЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ	63

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

УКАЗАНИЯ (руководство) ПО РАСЧЕТУ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ.

Дата введения - 2019 - 01 – 01

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Настоящий руководящий документ устанавливает общие требования к расчетам режимных характеристик морского ветрового волнения (далее режима волнения) для основных типов морских акваторий. Общие требования и рекомендации устанавливаются к допустимым для расчетов режима волнения исходным данным, расчетной гидрометеорологической информации и данным об акваториях.

1.2 Настоящий руководящий документ предназначен для подразделений Росгидромета, производящих наблюдения и (или) предоставление гидрометеорологической информации в прибрежных районах и морских акваториях. Для составителей региональных климатических справочников и пособий. Для проектных и проектно-изыскательских предприятий, ведущих научные изыскания, предваряющие проектирование, строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений, в прибрежной зоне и на морском шельфе. Для организаций ведущих иную деятельность по освоению морского побережья и морского шельфа России.

2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 18458-84 Приборы, оборудование и плавсредства наблюдений в морях и океанах. Термины и определения

СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).

РД 52.04.316-1992 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Часть Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, производимые штатными наблюдателями. Книга 1. Общие методические требования к организации и обеспечению гидрометеорологических и актинометрических наблюдений на судах.

РД 52.27.759-2011 Книга 2. Методики выполнения гидрометеорологических наблюдений на судах

РД 52.04.567-2003 Положение о государственной наблюдательной сети

РД 52.04.614-2000 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть II. Обработка материалов метеорологических наблюдений

РД 52.04.663-2005 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Часть Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, производимые штатными наблюдателями. Книга 3. Общие требования к программному обеспечению первичной обработки и архивации результатов судовых наблюдений гидрометеорологических и актинометрических величин. Журнал КГМ-15 для записи судовых гидрометеорологических наблюдений

РД 52.14.642-2005 Текстовые документы. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению

РД52.18.28–2014 ПРАВИЛА РАЗРАБОТКИ, УТВЕРЖДЕНИЯ, ОБНОВЛЕНИЯ И ОТМЕНЫ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ РОСГИДРОМЕТА

РД 52.19.143-2010 Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении

РД 31.33.02-81. Методические указания по определению ветровых и волновых условий при проектировании морских портов. / Союзморниипроект. - М., 1981.

РД 31.33.04-84. Определение скоростного напора ветра над акваториями для расчета ветровых нагрузок на портовые сооружения. /Союзморниипроект. - М., 1984.

РТ 12–2012 Перечень нормативных документов по обеспечению единства измерений в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Обнинск «ВНИИГМИ-МЦД» 2012

СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003

СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*

СП 47.13330.2012 ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. АКТУАЛИЗИРОВАННАЯ РЕДАКЦИЯ СНИП 11-02-96

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

3.1 В настоящем документе использованы термины, приведенные ниже, а также в ГОСТ 19185:

3.1.1 **бегущие волны:** Волны, видимая форма которых перемещается в пространстве;

3.1.2 **ветровые волны:** Колебательное движение воды, вызванное ветром при его воздействии на свободную поверхность;

3.1.3 **волновое давление:** Доля (составляющая) гидродинамического давления, обусловленная ветровым волнением свободной поверхности жидкости;

3.1.4 **высота волны:** Превышение вершины волны над соседней подошвой на волновом профиле (рисунок 1);

3.1.5 **вершина волны:** Наивысшая точка гребня волны (рисунок 3.1);

3.1.6 **гребень волны:** Часть волны, расположенная выше средней волновой линии (рисунок 3.1);

3.1.7 **дифракция волн:** Искривление фронтов и изменение высот бегущих волн, огибающих препятствия (сооружения, острова, мысы и др.);

3.1.8 **длина волны:** Горизонтальное расстояние по лучу волны между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле (рисунок 3.1);

3.1.9 **длина разгона волн:** Протяженность охваченной ветром акватории, измеренная по направлению ветра до расчетной точки;

3.1.10 **критическая глубина:** Глубина, при которой происходит обрушение волн;

3.1.11 **крутизна волны:** отношение высоты данной волны к ее длине;

3.1.12 **ложбина волны:** Часть волны, расположенная ниже средней волновой линии (рисунок 3.1);

3.1.13 **луч волны:** Линия, перпендикулярная фронту волны;

3.1.14 **нерегулярные волны:** Волны, элементы которых изменяются случайным образом;

3.1.15 **период волны:** Интервал времени между прохождением двух смежных вершин волн через фиксированную вертикаль;

3.1.16 **подошва волны:** Самая низкая точка ложбины волны;

3.1.17 **прибойные волны:** Ветровые волны на пологом прибрежном откосе (естественном или искусственном), в пределах которого вследствие трения частиц воды о дно происходит трансформация профиля волн с образованием переднего крутого склона; на завершающем этапе трансформации волн возможно обрушение их гребней в сторону берега (см. *разбивающиеся волны*)];

3.1.18 **профиль волны (главный):** Линия пересечения взволнованной поверхности с вертикальной плоскостью в направлении луча волны (рисунок 3.1);

3.1.19 **разбивающиеся волны:** Ветровые волны, у которых при взаимодействии с обрывистым берегом, гидротехническими сооружениями, подводными преградами или круто наклоненным дном происходит трансформация профиля волн с обрушением гребня в сторону берега (преграды);

3.1.20 **расчетные элементы волны:** Элементы волны заданной обеспеченности в системе расчетного шторма, принятые в соответствии с классом и видом сооружения;

3.1.21 **расчетный уровень:** Уровень воды в водоеме, назначаемый с учетом сезонных и годовых колебаний, ветрового нагона и сгона, приливов и отливов (рисунок 3.1);

3.1.22 **расчетный шторм:** Шторм повторяемостью один раз за заданный период времени (например, 25, 50 или 100 лет) и характеризующийся максимальными за этот период элементами волн; разным направлениям волн могут соответствовать различные расчетные штормы;

3.1.23 **регулярные волны:** Волны, высота и период которых остаются неизменными во времени;

3.1.24 **рефракция волн:** Искривление фронтов и изменение высот бегущих волн под воздействием течений или обусловленное изменением глубины на мелководье;

3.1.25 **скорость волны:** Скорость перемещения в данной точке гребня волны вдоль луча волны;

3.1.26 **средняя волновая линия:** Линия, пересекающая запись волновых колебаний так, что суммарные площади выше и ниже этой линии одинаковы (рисунок 3.1);

3.1.27 **стоячие волны:** Волны, видимая форма которых в пространстве не перемещается;

3.1.28 **трансформация волн:** изменение высоты и длины бегущих волн, искривление их фронтов под воздействием рельефа дна, препятствий, течений;

3.1.29 **фронт волны:** Линия на плане взволнованной поверхности, проходящая по вершинам гребня волны;

3.1.30 **штормовой нагон и сгон:** Повышение и понижение уровня воды в акватории относительно среднего уровня, вызванные воздействием ветра и уменьшением атмосферного давления в шторме;

3.1.31 **оперативные характеристики ветрового волнения:** сочетания параметров ветрового волнения, имеющие частую повторяемость (“нормальные”, “фоновые”, “эксплуатационные”). Как правило, вероятность появления таких событий больше одного раза в год.

3.1.32 **гидрометеорологическая помеха** представляет собой сочетание нескольких гидрометеорологических факторов (в том числе и параметров ветрового волнения), препятствующих деятельности гидротехнических сооружений и работам в море в течение определенного промежутка времени.

3.1.33 **шторма/окна погоды:** периоды времени с высотами волн выше/ниже заданного уровня. Могут быть представлены системой из 4-х величин:

- продолжительность шторма - (положительного выброса высот волн в течение нескольких синоптических сроков за фиксированный уровень);

- продолжительность окна погоды (отрицательного выброса высот волн в течение нескольких синоптических сроков за фиксированный уровень);
- максимальное значение высоты волны в шторме;
- минимальное значение высоты волны в окне погоды.

3.1.34 **обеспеченность значения элемента волнения в режиме** – вероятность превышения порогового значения элементом волнения в один из сроков наблюдений или за указанные период времени (чаще всего год).

3.1.35 **обеспеченность значения элемента волн в системе** – вероятность превышения порогового значения параметром индивидуальной волны за период времени между сроками наблюдений.

3.1.36 **период повторяемости**, интервал повторения — оценка интервала времени между такими событиями, как **расчетный шторм**, сходной интенсивности или силы. Это статистическая величина, обозначающая средний интервал повторения в течение длительного периода времени. Как правило, её вычисление требуется для анализа риска.

3.1.37 **элемент волны (основные)**: Высота, длина и период волны (рисунок 3.1) высота волны - превышение вершины волны над соседней подошвой на волновом профиле, проведенном в генеральном на 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;

статистическими характеристиками или параметрами ветрового 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.

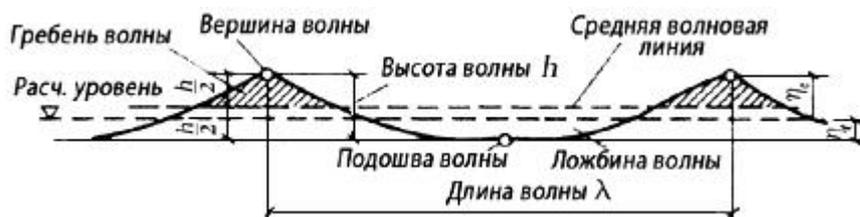


Рисунок 3.1 - Профиль и элементы волны

3.2 Все эти статистические характеристики ветрового волнения в фиксированной 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.

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

3.4 Акватории, в пределах которых дно не влияет на развитие волнения (глубины в этом случае составляют более 50 % средней длины волны в данном районе), называются глубоководными, иногда используется термин глубокая вода.

3.5 Акватории, в пределах которых дно влияет на развитие волн, называются мелководными, или мелкая вода. В этом случае глубина составляет менее 50 % 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.

3.6 Типы акваторий и зон действия ветровых волн определяются в зависимости от соотношения между характеристиками волнения, с одной стороны, глубинами и уклонами дна - с другой.

3.7 В настоящем документе применены следующие сокращения:

АРГО – Международный проект по размещению в Мировом океане системы измерительных буев;

БД – база данных;

ВМО – Всемирная метеорологическая организация;

ГМБ – гидрометеорологическое бюро;

ГМЦ – гидрометеорологический центр;

ДП - «Дискретное» приближение;

ЕСИМО - Единая система информации об обстановке в Мировом океане;

ИВМ РАН- институт вычислительной математики РАН;

ИФА РАН - Институт физики атмосферы РАН;

ИО РАН – Институт океанологии РАН;

МАГИ - Международная ассоциация гидравлических исследований;

МГАВТ - Московская государственная академия водного транспорта;

МГСУ - Московский государственный строительный университет;

МИНКОМСВЯЗЬ - Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации;

МИНТРАНС - Министерство транспорта Российской Федерации;

ММЦ - Мировой метеорологический центр;

МО РФ - Министерство обороны Российской Федерации;

МПР РФ - Министерство природных ресурсов Российской Федерации;

МЧС России - Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;

НИИ - научно-исследовательский институт;

НИС - научно-исследовательское судно;

НМЦ - Национальный метеорологический центр;

НПО - научно-производственное объединение;

НПК - научно-производственная компания;

ПВП- Пики выше порога (метод);

РАВМ - Российская атмосферно-волновая модель;

РАН - Российская академия наук;

РГГМУ- Российский государственный гидрометеорологический университет;

Рд - руководящий документ;

РОСГИДРОМЕТ - Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

РОСРЫБОЛОВСТВО - Федеральное агентство по рыболовству;

РТ – рекомендации типовые;

СБД - специализированная база данных;

СНиП – строительные нормы и правила;

СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ - Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт морского транспорта ОАО "Союзморниипроект";

СПО ГОИН- Санкт-петербургское отделение ГОИН им Н.Н. Зубова

СРБД - система распределенных баз данных;

УГМС - Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

УМЗА - Управление мониторинга загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ Росгидромета;

ФГБУ - Федеральное государственное бюджетное учреждение;

ФГБУ «ААНИИ» - Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно- исследовательский институт»;

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» - Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных;

ФГБУ «Гидрометцентр России» - Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации;

ФГБУ «ГОИН» - Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова;

ФГБУ «ДВНИГМИ» - Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт;

ФГБУ «РФИ Минприроды России» - Главный научно-исследовательский и информационно-вычислительный центр Министерства природных ресурсов Российской Федерации;

ФГУП «ВНИРО» – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»;

ЦБМД – централизованная база метаданных

ЦГМС – областной (республиканский, краевой, окружной и др.) центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета;

ЦМКП – Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам Росгидромета;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭВМ – электронная вычислительная машина;

ECWMF- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts или Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды;

MODIS- Moderate resolution Imaging Spectroradiometer;

NCAR- National Center for Atmospheric Research USA или Национальный центр исследований атмосферы (США);

NCEP- National Centers for Environmental Prediction или

Национальный центр прогнозов погоды (США);

POT- Peak-Over-Threshold method, или метод ПВП (пики выше порога);

SI - скаттер-индекс (коэффициент разброса);

UTS – всемирное скоординированное время;

WAM - WAve prediction Model ;

WRF model - Weather Research Forecast model ;

WRF/ARW model - Advanced Research WRF model.

4. ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛН В РАЗЛИЧНЫХ АКВАТОРИЯХ

Общие положения

4.1. Расчеты элементов волн на открытых акваториях необходимо производить с учетом деления морей на акватории и зоны по уклонам дна и глубинам:

глубоководная акватория - с глубиной $d > 0,5 \cdot \overline{\lambda_d}$, где дно

не влияет на элементы волн, $\overline{\lambda_d}$ - средняя длина волн на глубокой воде;

мелководная акватория - с глубиной $d \leq 0,5 \overline{\lambda_d}$, и уклонами дна $i_* \leq 0,001$ или практически горизонтальном дне;

зона трансформации - область уменьшающихся глубин с уклонами дна $i_* > 0,001$, по которой волны распространяются из глубоководной или мелководной акватории;

прибойная зона - с глубинами от d_{cr} до $d_{cr, u}$, в пределах которой начинается и завершается разрушение волн;

приурезовая зона - с глубиной менее $d_{cr, u}$, в пределах которой происходит накат волн на берег, т.е. поток от обрушенных волн периодически набегает на береговой откос или пляж;

зона дифракции - акватория, огражденная одиночным молотом, сходящимися молами, волноломом или комбинациями перечисленных типов сооружений.

4.2. Превышение вершины волны над расчетным уровнем η_c , м, для акваторий и зон, перечисленных в п. 4.1 настоящих Указаний, исключая приурезовую, следует принимать согласно требованиям СП 38.13330.2012.

4.3. Элементы волн на открытых глубоководных и мелководных акваториях, в зоне трансформации, прибойной зоне и на огражденных акваториях необходимо определять в соответствии с рекомендациями настоящих Указаний и требованиям СП 38.13330.2012.

4.4. Рекомендуется использование региональных моделей атмосферы для расчета полей ветра (Приложение А), после верификации результатов расчетов по данным натурных изысканий.

4.5. Рекомендуется использование моделей морской динамики для определения фактической глубины (Приложение Б), после верификации результатов расчетов по данным натурных изысканий.

4.6. Рекомендуется использование гидродинамических моделей расчета ветровых волн при расчете параметров волнения (Приложение В), при их тестовой проверке по формулам Указаний и после верификации результатов расчетов по данным натурных изысканий.

Элементы волн на глубоководной акватории

4.7. Среднюю высоту волны на глубоководной акватории \bar{h}_d , м, при простых условиях волнообразования (ветер постоянной скорости и направления, прямолинейный берег) необходимо определять с учетом скорости ветра, а также разгона или продолжительности действия ветра по формулам:

$$\bar{h}_d = 0,16 \frac{V_w^2}{g} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + 6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gL}{V^2} \right)^{0,5}} \right] \right\} \quad (4.1)$$

$$\bar{h}_d = 0,16 \frac{V_w^2}{g} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + 1,04 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gt}{V_w} \right)^{0,635}} \right]^2 \right\} \quad (4.2)$$

где:

V_w - скорость ветра, м/с, определяемая по Приложению А;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

L - разгон, м;

t - продолжительность ветра, с.

По значениям безразмерных параметров gL/V^2 и gt/V , следует вычислять значения \bar{h}_d и принимать меньшую величину.

Средний период волн \bar{T} , с, и среднюю длину $\bar{\lambda}_d$, м, следует определять по формулам:

$$\bar{T} = 19,5 \frac{V_w}{g} \left(\frac{g \bar{h}_d}{V_w^2} \right)^{0,625} \quad (4.3)$$

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g \bar{T}^2}{2\pi} \quad (4.4)$$

4.8. Высоту волны i %-ой обеспеченности в системе волн h_i , м, необходимо определять по формулам:

$$\frac{h}{h} = \left[-\frac{4}{\pi} (1 + 0,4h^*) \ln F_h \right]^{\frac{1-h^*}{2}}, \quad (4.5)$$

где h - высота волн заданной обеспеченности, F_h - обеспеченность высоты волны (доли единицы), $h^* = h/d$, d – фактическая глубина места (м).

4.7. При сложной конфигурации береговой черты среднюю высоту волны, м, необходимо определять по формуле

$$\bar{h}_d = 0,1 \sqrt{25 \bar{h}_1^2 + 21(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_{-2}^2) + 13(\bar{h}_3^2 + \bar{h}_{-3}^2) + 3,5(\bar{h}_4^2 + \bar{h}_{-4}^2)}, \quad (4.6)$$

где \bar{h}_n , м, (при $n = 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4$) - средние высоты волн, которые должны приниматься согласно 4.1-4.2, по расчетной скорости ветра и проекциям лучей L_n , м, на направление главного луча, совпадающего с направлением ветра. Лучи проводятся из расчетной точки до пересечения с линией берега с интервалом $\pm 22,5$ град от главного луча.

При наличии перед расчетным створом большого количества препятствий в виде островов с угловыми размерами менее $\pm 22,5$ град и суммой угловых размеров более 22,5 град среднюю высоту волн \bar{h}_n , м, в секторе n необходимо определять по формуле

$$\bar{h}_d = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_n} \chi_{ni} \bar{h}_{ni}^2 + \sum_{j=1}^{l_n} v_{nj} \bar{h}_{nj}^2}, \quad (4.7)$$

где χ_{ni} , v_{nj} - соответственно угловые размеры i -го препятствия и j -го промежутка между соседними препятствиями, отнесенные к углу 22,5 град ($i=1,2,3...k_n$; $j=1,2,3,...,l_n$) в пределах n -го сектора, назначаемого в интервале $\pm 11,25$ град от направления луча.

Примечание. Конфигураций береговой черты принимается сложной, если величина $L_{max}/L_{min} \geq 2$, где L_{max} и L_{min} - наибольший и наименьший лучи, проведенные из расчетной точки в секторе ± 45 град от направления ветра до пересечения с подветренным берегом.

Элементы волн на мелководной акватории

4.8. Среднюю высоту волны на мелководной акватории, \bar{h}_s , м, с уклонами дна $i < 0,002$ необходимо определять по формуле

$$\bar{h}_s = \bar{h}_d \cdot th \left[\frac{0,1 \left(\frac{gd}{V_w^2} \right)^{0,8}}{\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2}} \right] \quad (4.8)$$

где

d - глубина воды в расчетной точке.

Параметр $\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2}$, и, соответственно, высоту волны \bar{h}_d , м, необходимо определять по формулам (4.1) и (4.2); при этом используют наименьшее значение.

Средний период \bar{T} , с, и среднюю длину волны $\bar{\lambda}$, м, на мелководной акватории необходимо определять по формулам (4.3) и (4.4) с учетом вычисленных значений \bar{h}_s , м, и \bar{T} , с.

4.9. Высоту волны i %-ой обеспеченности в системе волн h_i , м, необходимо определять по формулам (4.5).

Элементы волн в зоне трансформации

4.10. Высоту волн i %-ой обеспеченности в зоне трансформации с уменьшающимися глубинами при уклонах дна $i \geq 0.02$ необходимо определять по формуле:

$$h_i = k_t \cdot k_r \cdot k_i \cdot \bar{h}_d \quad (4.9)$$

где:

k_t - коэффициент трансформации;

k_r - коэффициент рефракции;

k_i - коэффициент перехода к высоте волны i %-ой обеспеченности;

\bar{h}_d - исходная средняя высота волны на глубоководной акватории.

Коэффициенты k_b , k_r и k_i , следует определять по п.п. 4.11, 4.12, 4.14 настоящих Указаний.

4.11. Коэффициент трансформации k_t , необходимо вычислять по формуле

$$k_t = \sqrt{\frac{C_n \left(1 + \frac{4\pi \cdot d}{C_n \cdot \bar{\lambda}_d} \right)}{\operatorname{sh} \left(\frac{4\pi \cdot d}{C_n \cdot \bar{\lambda}_d} \right)}} \quad (4.10)$$

где

$$C_n = \sqrt{\operatorname{th} \left(\frac{2\pi d}{\bar{\lambda}_d} \right)} \quad (4.11)$$

d - глубина воды в расчетной точке.

4.12. Коэффициент рефракции для участков дна с прямолинейными изобатами (при $0 < \alpha_d < 60$, град.) следует вычислять по формуле

$$k_r = \left[\frac{1 - C_n^2 \sin^2 \alpha_d}{\cos^2 \bar{\lambda}_d} \right] \quad (4.12)$$

где

α_d - угол между направлением волн и нормалью к изобатам в расчетной точке;

C_n - параметр, определяемый по формуле (4.11).

Рефракцию участков дна с криволинейными изобатами рекомендуется рассчитывать по численным моделям (Приложение В).

4.13. Высоту волн $i\%$ - ой обеспеченности в зоне трансформации с уменьшающимися глубинами при уклонах дна $0,002 \leq i < 0,02$ необходимо определять по формуле

$$h_i = k_t \cdot k_l \cdot k_i \cdot \bar{h} \quad (4.13)$$

где k_l - обобщенный коэффициент потерь.

Обобщенный коэффициент потерь k_l должен определяться по заданным значениям величины $d / \bar{\lambda}_d$ и уклону дна i (табл. 4.1); при уклонах дна 0,03 и более следует принимать значение обобщенного коэффициента потерь равным единице.

Таблица 4.1

Относительная глубина $d / \bar{\lambda}_d$	Значения коэффициента k_l при уклонах дна i	
	0,025	0,02-0,002
0,01	0,82	0,66
0,02	0,85	0,72
0,03	0,87	0,76
0,04	0,89	0,78
0,06	0,9	0,81
0,08	0,92	0,84
0,1	0,93	0,86
0,2	0,96	0,92
0,3	0,98	0,95
0,4	0,99	0,98
0,5 и более	1	1

4.15. Коэффициент перехода k_i к высоте волны заданной $i\%$ -ой обеспеченности необходимо определять по формуле 4.5.

4.16. Длину волн $\bar{\lambda}$, м, перемещающихся из глубоководной акватории в зону трансформации необходимо определять по формуле

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_d \sqrt{\operatorname{th}\left(\frac{2\pi d}{\bar{\lambda}_d}\right)}, \quad (4.14)$$

где $\bar{\lambda}_d$ принимается по формуле (4.4).

Элементы волн в прибойной зоне

4.17. Глубину первого обрушения волн d_{cr} , м, в прибойной зоне при постоянном уклоне дна / необходимо определять по формуле

$$d_{cr} = a_i \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{5,9 \cdot 2\pi (h_d)_{1\%}}{g\bar{T}^2} \right) \right] \cdot \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \quad (4.15)$$

где $\begin{cases} a_1 = 4,3 \\ a_2 = 5,4 \\ a_3 = 6,3 \end{cases}$ при $\begin{cases} 0,001 < i^* \leq 0,033 \\ 0,033 < i^* \leq 0,049 \\ 0,049 < i^* \leq 0,2 \end{cases}$

4.18. Глубину последнего обрушения волн $d_{cr, u}$, м, начиная с которой происходит накат волн на берег, допускается при постоянном уклоне дна i вычислять по формуле

$$d_{cr, u} = k_u^{n-1} d_{cr}, \quad (4.16)$$

где $d_{cr, u}$ - глубина первого обрушения волн, принимаемая по формуле (4.15). Значение параметра k_u число обрушений волн n , необходимо определять по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Уклоны дна i	0.01-0.014	0.015-0.033	0.034-0.049	0.05-0.2
Параметр k_u	0.755	0.59	0.40	-
Число обрушений n	4	3	2	1

При уклонах дна $0,05 \leq i^* \leq 0,2$ и значении $n = 1$ критическая глубина $d_{cr, u} = d_{cr}$.

При уклонах дна $0,001 < i^* < 0,01$ необходимо принимать

$$d_{cr, u} = 0,43 d_{cr} \quad (4.17)$$

4.19. Глубину последнего обрушения волн $d_{cr, u}$ м, при переменных уклонах дна допускается принимать по результатам последовательного определения глубин $d_{cr, u}$ для участков с постоянными уклонами дна i .

4.20. Высоту волн в прибойной зоне 1%-ой обеспеченности $h_{sur,1\%}$ при $d_{cr} \leq d \leq d_{cr,u}$ необходимо определять по формуле

$$h_{sur,1\%} = 0,18 \left[th \left(a_i \frac{2\pi d}{g\bar{T}^2} \right) \right] \cdot \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \quad (4.18)$$

где коэффициент a_i , следует принимать в соответствии с требованиями п. 4.17 настоящих Указаний.

4.21. Длину волны в прибойной зоне $\bar{\lambda}_{sur}$, м, следует вычислять по формуле

$$\bar{\lambda} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \sqrt{th \left(9,2 \frac{2\pi d}{g\bar{T}^2} \right)} \quad (4.19)$$

4.22. Высоту волны i %-ой обеспеченности в прибойной зоне $h_{sur, i\%}$ м, необходимо определять по формуле

$$h_{sur,i\%} = k_i h_{sur,1\%} \quad (4.20)$$

Коэффициент перехода к высоте заданной обеспеченности k_i следует принимать по табл. 4.3.

Таблица 4.3

Обеспеченность высоты волны i , %	0.1	1	5	13
Коэффициент k_i	1.15	1	0.9	0.85

Элементы волн на огражденной акватории

4.23. Высоту дифрагированной волны h_{dif} м, на огражденной акватории необходимо определять по формуле

$$h_{dif} = k_{dif} h_i \quad (4.21)$$

где

k_{dif} - коэффициент дифракции волн;

h_i - высота исходной волны обеспеченностью i % перед входом на акваторию, м.

В качестве расчетной длины волны следует принимать исходную длину $\bar{\lambda}_a$, м, на входе в акваторию.

4.24. Коэффициент дифракции волн $k_{dif, s}$ для акватории, огражденной одиночным молотом, рис. 4.1, следует вычислять по формуле

$$k_{dif, s} = \frac{1 + 2,3 \left(\frac{r}{\lambda_d} \right)^{1,7}}{1 + 2,3 \left(\frac{r}{\lambda_d} \right)^{1,7} + \left[1,1 \left(\frac{r}{\lambda_d} \right)^{0,67} th^{0,17} \varphi + \frac{r}{\lambda_d} f(\beta) \right]^{2,5}}, \quad (4.22)$$

где

$$f(\beta) = \begin{cases} tg\beta & (\beta \leq 0) \\ \beta & (\beta > 0) \end{cases}$$

r - расстояние от головы мола до расчетной точки, м;

φ - угол между лучом исходной волны и осью мола, рад.

β - угол между границей волновой тени и лучом, проведенным от головы мола в расчетную точку, рад.: в зоне волновой тени угол β считается положительным; вне зоны тени - отрицательным.

4.25. Коэффициент дифракции волн за одиночным молотом допускается определять по спектральной методике. Результирующий коэффициент дифракции определяется с учетом коэффициентов дифракции для волновых лучей, проведенных из расчетной точки в направлениях через $\pm 22,5$, град, от главного луча в секторе $\pm 67,5$, град.

4.26. Рекомендуется использовать гидродинамические модели для акваторий с переменными глубинами с учетом дифракции, отражения и интерференции волн у сооружений различных конструкций, в т.ч. проницаемых. При этом необходимо выполнять тестовую проверку моделей с использованием формулы (4.22).

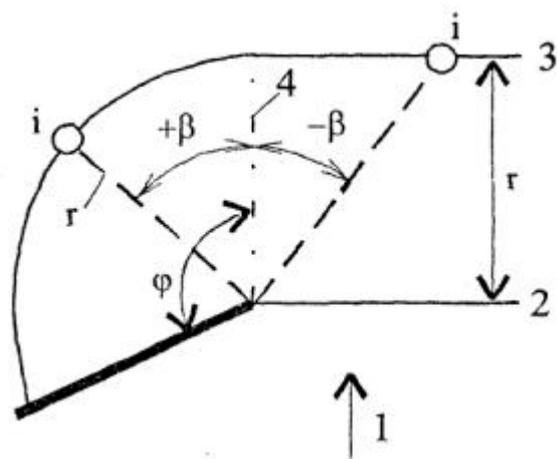


Рис. 4.1. Схема к расчету дифракции волн за одиночным молотом:
 1 - исходный луч; 2 - исходный створ; 3 - расчетный створ; 4 - граница
 волновой тени

5. РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Общие положения

5.1. Определение режимных характеристик ветрового волнения проводятся для средних высот, периодов и длин волн, генерального или среднего направления волнения, а также высот, периодов и длин волн $i\%$ -ой обеспеченности в системе.

5.2 Для получения данных характеристик используются многолетние ряды наблюдений за ветровыми волнением на г/м станциях или расчеты по полям ветра.

5.3 При определении режимных характеристик ветрового волнения используются 4 или 8-срочные данные наблюдений/расчетов.

5.4 Общая продолжительность наблюдений/расчетов должна охватывать период не менее 30 лет. При определении оперативных характеристик ветрового волнения допустимо использовать 10-летние ряды наблюдений/расчетов.

Оперативные характеристики ветрового волнения

5.5. Важнейшими оперативными режимными характеристиками волнения являются:

- Обеспеченности $F_X(y)=P(X \geq y)$ высот H , периодов T волн и длин λ волн.
- Квантили высот H и периодов T волн и длин λ волн с вероятностью появления до одного года включительно.
- Условные (ассоциированные) $P(x|y)$ статистики волнения, к которым относятся вероятность появления периодов волн при данном значении высот волн или направлений распространения волнения при данном значении высот волн.

Шторма и окна погоды

5.6 Синоптическая изменчивость ветрового волнения может быть представлены системой из 4-х величин:

- продолжительность **S** шторма (положительного выброса траектории **h(t)** за фиксированный уровень **Z**);
- продолжительность **W** окна погоды (отрицательного выброса траектории **h(t)** за фиксированный уровень **Z**);
- максимальное значение **h⁺** (м) высоты волны в шторме уровня **Z**;
- минимальное значение **h⁻** (м) высоты волны в окне погоды уровня **Z**.

Гидрометеорологические помехи

5.7 Помеха представляет собой один или несколько г/м факторов (как правило, включающих в себя ветровое волнение), препятствующих работам в море в течение определенного промежутка времени. Режимными характеристиками помех являются: средняя длительность \bar{t}_p и средний квадрат длительности действия помех \bar{t}_p^2 , а также вероятность их возникновения **P_n**. Величины \bar{t}_p , \bar{t}_p^2 , и **P_n** получают по данным наблюдений (не менее 5 лет) за г/м режимом в акватории, для этого:

- строится совмещенный хронологический график скорости ветра и параметров волнения по выбранным направлениям;
- определяются предельные значения скорости ветра, предельно допустимой температуры воздуха и высоты волнения для данного типа работ;
- полученные значения наносятся на совмещенный график в виде прямых линий, параллельных оси времени;
- интервалы времени, когда значения г/м факторов выходят за допустимые границы, проецируются на общую ось времени (если в течение некоторого промежутка времени обслуживание судна прерывается несколькими г/м факторами, и интервалы действия этих

факторов пересекаются, то данный промежуток времени необходимо считать длительностью действия одной помехи);

- по полученным значениям длительности помех рассчитываются величины \bar{t}_p , \bar{t}_p^2 , и P_n по формулам

$$\bar{t}_n = \frac{1}{m} \sum_1^m t_{ni}; \quad \bar{t}_n^2 = \frac{1}{m} \sum_1^m t_{ni}^2; \quad P_n = \frac{1}{T} \sum_1^m t_{ni}; \quad (5.1)$$

где

T - длительность рассматриваемого периода, сут.;

t_{ni} - длительность i -той помехи, сут.;

m - количество помех за период T .

Расчетные характеристики ветрового волнения

5.8 Определение расчетных режимных характеристик для г/т сооружений I и II классов капитальности должны проводиться на основе данных наблюдений и/или решения гидродинамической задачи генерации и распространения ветрового волнения. Модель ветрового волнения должна учитывать известные процессы, влияющие на генерацию и распространение ветровых волн и зыби. К ним относятся: распространение и рефракция ветрового волнения, взаимодействие ветра и волн, нелинейные взаимодействия в спектре ветрового волнения, диссипация ветрового волнения, донное трение и обрушение ветрового волнения в приурезовой зоне. Исходные поля ветра задаются с учетом неоднородности и нестационарности ветрового потока над морем.

Расчетные режимные характеристики в глубоководных и мелководных акваториях

5.9 Расчетные режимные характеристики ветрового волнения в глубоководных и мелководных акваториях рассчитываются по вероятностным моделям (Приложение Г) на основании штормовых или годовых максимумов ветрового волнения.

5.10 Для мелководной акватории при глубине менее половины длины волны $d \leq 0,5\lambda$ и с уклонами дна $i < 0,002$ допустимо определять предельно большую для данной акватории среднюю высоту волны по формуле

$$\bar{h} = 0,062V^{0,4}d^{0,8} \quad (5.2)$$

Расчетные режимные характеристики в зоне трансформации, в прибойной зоне и на акваториях с ограждениями.

5.11 Расчетные режимные характеристики в зоне трансформации, в прибойной зоне и на акваториях с ограждениями определяются по режимным характеристикам в глубоководных и мелководных акваториях. Данные характеристики используются как граничные условия с последующей трансформацией их процессами донного трения, рефракции, дифракции и обрушения волн в приурезовой зоне.

Расчетные режимные характеристики в тропических циклонах

5.12 Повторяемость элементов ветровых волн в зонах действия тропических циклонов рассчитывают на основе повторяемостей направлений и скоростей ветра, формирующих эти волны.

5.13 Повторяемость направлений и скоростей ветра в зоне действия тропических циклонов $P(\vec{V}_i)$ необходимо представлять в виде суммы двух составляющих: режима фоновых ветров, и режима экстремальных ветров:

$$P(\vec{V}_i) = P_C(\vec{V}_i) + P_H(\vec{V}_i), \quad (5.3)$$

где $P_C(\vec{V}_i)$ - повторяемость скоростей фоновых ветров;

$P_H(\vec{V}_i)$ - повторяемость экстремальных скоростей ветра, формируемых тропическими циклонами.

5.14 Повторяемость направлений и скоростей фоновых ветров получают путем обработки многолетнего ряда наблюдений или типизации карт

барической топографии, с последующим расчетом полей волн и присвоения им вероятностных характеристик соответствующих карт.

5.15. Повторяемость направлений и скоростей ветра, формируемых тропическими циклонами, рассчитывают на основе анализа траекторий тропических циклонов и карт барической топографии, соответствующих максимальному развитию каждого их тропических циклонов, за многолетний период по формуле

$$P_H(\vec{V}_i) = \frac{\sum_{j=1}^{N(\vec{V}_i)} [t(\vec{V}_i)]_j}{t_0 P(\theta_i)} \cdot \frac{N(S_1)}{N(S_0)} \cdot \frac{\bar{S}(\vec{V}_i)}{S_1}, \quad (5.4.)$$

где $N(S_1)$ - количество тропических циклонов, прошедших через зону S_1 за время t_0 ;

$N(S_0)$ - количество тропических циклонов, прошедших через зону S_0 за время t_0 ;

$\bar{S}(\vec{V}_i)$ - средняя площадь области тропического циклона с данными скоростями и направлениями ветра;

t_0 - период наблюдений;

S_1 - площадь зоны;

j - номер тропического циклона.

5.16. В качестве зоне S_0 следует принимать область океана, в которой зарождаются, достигают максимального развития и разрушаются тропические циклоны.

5.17. Зону S_1 следует принимать в виде квадрата размером $2,5^0 \times 2,5^0$, плотность траекторий тропических циклонов в котором за многолетний период может быть принята равномерной.

5.18. Значение средней площади области тропического циклона с данными скоростями и направлениями ветра $\bar{S}(\vec{V}_i)$ следует определять с помощью номограммы на рис. 5.1.

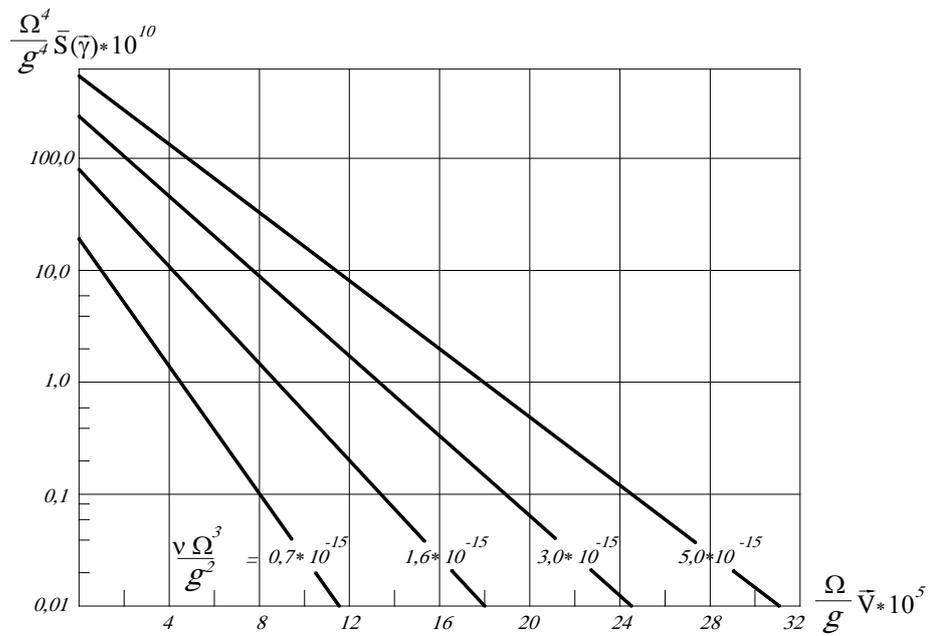


Рис. 5.1 - Зависимость безразмерной площади $\bar{S}(\bar{v}_i)$ штормовой области урагана от безразмерной скорости ветра \bar{V} и безразмерного параметра Кориолиса $\hat{\Omega}$ для широт $15^0, 20^0, 25^0$ и 30^0

6. НОМЕНКЛАТУРА РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ

Оперативные характеристики ветрового волнения

6.1 Повторяемость высот волн (3% обеспеченности и/или значительных) по градациям без учета направлений и с учетом направлений (8 румбов) по месяцам и за навигационный период.

Пример:

Таблица 6.1 – Повторяемость высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) по направлениям в июле, повторяемость $f(h)$ и обеспеченность $F(h)$ высот волн, повторяемость направлений волн

$h_{3\%}$, (м)	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(h)$	$F(h)$
0,0-0,5										
0,5-1,0										
1,0-1,5										
$\geq 1,5$										
Всего										

6.2 Совместная повторяемость высот и периодов волн. Строится для высот волн 3% обеспеченности и средних периодов.

Пример:

Таблица 6.2 – Совместная повторяемость высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) и средних периодов (τ , с) волн, повторяемость f , обеспеченность F и кривые регрессии m высот и периодов волн

$h_{3\%}$, (м)	Средний период τ (с)					Характеристики		
	2-4	4-6	6-8	8-10	≥ 10	$f(h)$	$F(h)$	$m(h)$
0-2								
2-4								
4-6								
6-8								
8-10								
10-12								
≥ 12								
$f(\tau)$						—		
$F(\tau)$								
$m(\tau)$								

6.3 Длительность штормов и окон погоды. Рассчитываются средние, среднеквадратические и максимальные значения для значительных высот волн и высот волн больших и меньших заранее заданных значений (1, 2, 3, 4, 5 м и т.д.). Таблицы строятся для волн 3% обеспеченности и/или значительных, отдельно для каждого месяца и навигационного периода в целом.

Пример:

Таблица 6.3 – Длительность штормов J и окон погоды Θ для значительных высот волн по градациям в июле (средние значения x_{cp} , среднеквадратические σ_x и максимальные $\max[x]$ значения), сутки

h_s (м)	Шторма			Окна погоды		
	J_{cp}	σ_J	$\max[J]$	Θ_{cp}	σ_Θ	$\max[\Theta]$
1,0						
2,0						
3,0						
4,0						
5,0						
6,0						

6.4 Роза волнения. Рассчитывается повторяемость волн по направлениям (% , всего 8 румбов). Представляется в графическом виде.

Пример:

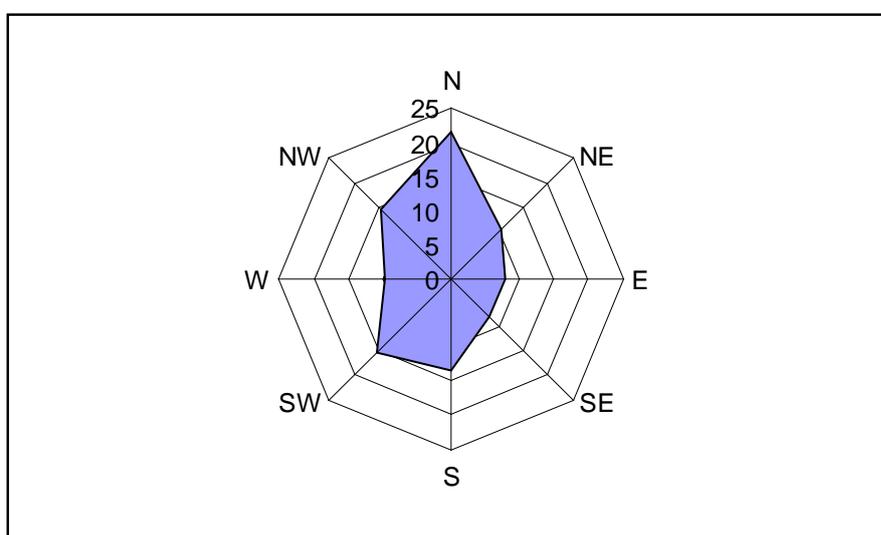


Рис. 6.1. Роза волнения (%)

6.5 Характеристики волн зыби.

Расчитывается повторяемость зыби, смешанного и ветрового волнения.

Пример:

Таблица 6.4 – Повторяемость зыби, смешанного и ветрового волнения по месяцам, %

Вид волнения	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	VI-XII
Зыбь								
Смешанное волнение								
Ветровое волнение								

Расчитывается совместная повторяемость высот ветровых волн и волн зыби (используется 3% обеспеченность и/или значительная высота волнения).

Таблица 6.5 – Совместная повторяемость высот ветровых волн 3% обеспеченности ($h_{w3\%}$, м) и высот волн зыби 3% обеспеченности ($h_{s3\%}$, м)

$h_{w3\%}$	$h_{s3\%}$									$f(h_{w3\%})$
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	>8	
0,0- 1,0										
1,0- 2,0										
2,0- 3,0										
3,0- 4,0										
4,0- 5,0										
5,0- 6,0										
6,0- 7,0										
7,0- 8,0										
8,0 – 9,0										
>9,0										
$f(h_{s3\%})$										

6.5 Спектральные характеристики волн. Рассчитываются средние за месяц моменты частотного спектра ветрового волнения.

Пример:

Таблица 6.6 – Характеристики частотного спектра ветрового волнения, осредненные по месяцам

Месяцы	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	VI-XII
Нулевой момент спектра (m^2)								
Первый момент спектра (m^2/c)								
Второй момент спектра (m^2/c^2)								

6.6 Угловое распределение. Рассчитывается среднее за месяц среднеквадратическое отклонение (градусы) направление волнения относительно среднего направления.

Пример:

Таблица 6.7 – Характеристика углового рассеяния волновой энергии относительно среднего направления, осредненная по месяцам

Месяцы	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	VI-XII
Среднеквадратическое отклонение (градусы)								

Расчетные характеристики ветрового волнения

6.7 Оценки высот волн (средние, 50%, 13%, 5%, 3%, 1% и 0,1% обеспеченности), возможные 1 раз в «n» лет. n = 1, 5, 10, 25, 50 и 100.

Пример:

Таблица 6.8 – Высоты волн (средние, 50%, 13%, 3%, 1%, 0,1% обеспеченности), возможные в n лет в точке 1

Вероятностные характеристики в системе волн	Периоды повторяемости, годы		
	1	5	10
Среднее			
50%			
13%			
5%			

3%			
1%			
0,1%			

6.8 Сведения о достоверности (доверительный, вероятностный или толерантный интервал) оценок высот волн. Приводятся границы 95%-го доверительного интервала.

Пример:

Таблица 6.9 – Вероятностные интервалы, отвечающие доверительной вероятности 95% для расчетных средних высот волн (м) повторяемостью 1 раз в n лет

Период повторяемости, год	Верхняя граница обеспеченностью 2,5%, м	Нижняя граница обеспеченностью 97,5%, м
10		
5		
1		

6.9 Оценки средних периодов, длин волн и придонных орбитальных скоростей ветрового волнения (ассоциированные значения), соответствующие высотам волн указанных обеспеченностей. Расчет ведется для периодов повторяемости $n = 1, 5, 10, 25, 50$ и 100 лет.

Примеры:

Таблица 6.10 – Оценки средних периодов волн, ассоциированных высотами волн различной обеспеченности, возможными 1 раз в n лет

Период повторяемости (лет)	Периоды волн, с						
	средние	50%	13%	5%	3%	1%	0,1%
10							
5							
1							

Таблица 6.11 – Оценки средних длин волн, ассоциированных высотами волн различной обеспеченности, возможными 1 раз в n лет

Период повторяемости (лет)	Длины волн, м						
	средние	50%	13%	5%	3%	1%	0,1%

10							
5							
1							

Таблица 6.12 – Оценки придонных орбитальных скоростей, ассоциированных с высотами волн различной обеспеченности, возможными 1 раз в n лет

Период повторяемости (лет)	Придонные орбитальные скорости волн, м/с						
	средние	50%	13%	5%	3%	1%	0,1%
10							
5							
1							

6. 10 Оценки высот гребней волн, соответствующих высотам 0,1% обеспеченности, возможным 1 раз в n лет. n = 1, 5, 10, 25, 50 и 100.

Пример:

Таблица 6.13 – Высоты гребней волн (0,1% обеспеченности), возможные 1 раз в n лет

n, лет	1	5	10
0,1%			

6.11 Волноопасные направления волн, наиболее вероятное направление прихода экстремальных волн. Указываются направление волнения в момент наибольшего усиления шторма для 10 наиболее сильных штормов.

Совместные характеристики ветрового волнения

6.12 Условные (ассоциированные) статистики волнения и волнообразующих факторов (высоты волн – скорость ветра, высоты волн – уровень моря).

Пример:

Таблица 6.14 – Повторяемость (%) сочетаний высоты волн и скорости ветра

Высота волны, м	Скорость ветра, м/с	
	0-10	10-20
0-2		
2-4		

4-6		
>6		

Таблица 6.15 – Повторяемость (%) сочетаний высоты волн и уровня моря

Высота волны, м	Уровень моря, м	
	0-0,5	0,5-1
0-2		
2-4		
4-6		
>6		

6.13 Статистика гидрометеорологических помех. Расчет средней длительности \bar{t}_p и среднего квадрата длительности действия помех $\overline{t_p^2}$, а также вероятности их возникновения P_n .

Таблица 6.16 - Режимные характеристики помех, ограничивающих возможность стоянки судна у причала: средняя длительность \bar{t}_p (ч), средний квадрат длительности действия помех $\overline{t_p^2}$ (ч²), вероятность их возникновения P_n .

Вид работы в море	РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОМЕХ		
	\bar{t}_p	$\overline{t_p^2}$	P_n
Вариант 1			
Вариант 2			
Вариант 3			
Вариант 4			

**РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА И МОДЕЛИ
АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ**

1. Расчетные скорости ветра при разгонах менее 100 км допускается определять: по данным наблюдений на береговых станциях, учитывая максимальные ежегодные значения скорости ветра.

2. Расчетные скорости ветра над акваторией большой протяженности при разгонах более 100 км следует определять по формулам (А.1-А.2), используя как исходную информацию синоптические карты.

3. Скорость ветра V_w , м/с, над водной поверхностью на горизонте $Z = 10$ m следует определять по градиенту атмосферного давления и вычислять по формуле

$$V_w = C_g V_{gr} \quad (A.1)$$

где

C_g - коэффициент трения, определяемый по п. 9 настоящего Приложения;

V_{gr} - скорость градиентного ветра, м/с.

4. Скорость градиентного ветра V_{gr} , м/с, при изобарах, проведенных на синоптических картах со стандартным "шагом" атмосферного давления $p = 5$ гПа, допускается вычислять по формулам:

$$V_{gr} = a_1 \cdot r \cdot f_r \left[1 - \sqrt{\left(1 - a_2 \frac{V_g}{f_r} \right)} \right] \quad (A.2)$$

$$f_r = 2 \omega_l \sin \varphi \quad (A.3)$$

где

r - радиус кривизны изобар, град, меридиана;

f_r - параметр Кориолиса, c^{-1} ;

V_g - скорость геострофического ветра, м/с;

$a_1 = 5.5 \cdot 10^4$ м/град. меридиана;

$a_2 = 3.8 \cdot 10^{-5}$ град, меридиана/с;

$\omega_l = 7.29 \cdot 10^{-5} c^{-1}$ - угловая скорость вращения Земли;

φ - широта, град.

При циклонах принимается $r < 0$, при антициклонах $r > 0$.

5. Скорость геострофического ветра V_g , м/с, при стандартном "шаге" атмосферного давления $\Delta p = 5$ гПа допускается определять, используя данные синоптических карт при изобарах, близких к прямолинейным (на границе циклона или антициклона), по формуле

$$V_g = a_3 \frac{1}{f_r \gamma} \quad (\text{A.4})$$

где

γ - расстояние между изобарами, град, меридиана; $a_3 = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м. град. меридиана/с².

6. Максимальную скорость градиентного ветра в антициклоне ($r > 0$) допускается определять по формуле

$$(V_{gr})_{a,max} = a_1 r f_r, \text{ при } r \leq r_{cr} \quad (\text{A.5})$$

7. "Критическое" значение радиуса кривизны изобар в антициклоне, r_{cr} , рад. меридиана допускается вычислять по формуле

$$r_{cr} = a_2 \frac{V_g}{f_r} \quad (\text{A.6})$$

Если $r > r_{cr}$, то для расчета ветра в антициклоне следует использовать формулы (А.2) и (А.3) настоящего Приложения.

8. Направление градиентного ветра в Северном полушарии необходимо принимать совпадающим с направлением изобар: в циклонах - против часовой стрелки, в антициклонах - по часовой стрелке. В Южном полушарии необходимо использовать противоположные направления.

9. Коэффициент трения C_g в формуле (А.1) допускается определять по данным Табл. 1 при использовании значений скорости градиентного ветра V_{gr} , м/с, вычисленной по формулам (А.2), (А.3) настоящего Приложения и разницы температур воздуха T_a и воды T_w , град, для широт $\varphi \geq 35$, град.

Таблица 1

ΔT, град	Коэффициент трения C_g при V_{gr} , м/с						
	10	15	20	25	30	35	40
-3	1.03	0.94	0.86	0.80	0.75	0.72	0.68
-2	0.94	0.86	0.78	0.73	0.68	0.66	0.62
-1	0.85	0.77	0.71	0.66	0.62	0.59	0.56
0	0.76	0.69	0.63	0.59	0.55	0.53	0.50

10. Направление ветра на горизонте $z = 10$ м определяется по углу поворота ветра α_m от направления градиентного ветра в сторону низкого давления; при этом для разницы температур воздуха и воды $\Delta T = -2; -1; 0$, град., допускается принимать углы поворота $\alpha_m = 0; 10; 20$, град., соответственно.

Расчет скоростей и направлений ветра с использованием региональных моделей атмосферы

11. При расчете скорости и направления ветра для акваторий с пространственными масштабами более 100 км рекомендуется использовать мезомасштабные региональные модели атмосферы.

12. Используемая численная региональная модель атмосферы должна обеспечивать численное решение системы уравнений термо- и гидродинамики с использованием начальных и граничных условий. В общем виде систему уравнений можно выписать в виде:

$$\frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} + \text{adv} + \nabla p = -\rho g \vec{k}, \quad (\text{A.7})$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla * (\rho \vec{v}) = 0, \quad (\text{A.8})$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{C_p \pi}, \quad (\text{A.9})$$

$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla * (\rho \vec{v} q) + \rho(E - C), \quad (\text{A.10})$$

где уравнение (A.1) расписывается для трех компонент скорости ветра $\vec{v} = \vec{v}(u, v, w)$, p – давление, T – температура воздуха, ρ – плотность,

$c_p = 7R/2$, $\pi = (p/p_0)^{R/c_p}$, $\theta = T/\pi$. Адвективные члены adv в уравнении

(A.1) расписываются как $\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + \vec{v} * \nabla A$ для трех направлений (x, y, z) для соответствующих компонент скорости ветра (u, v, w). При гидростатическом приближении уравнение (A.1) для вертикальной координаты z записывается в виде (A.11):

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad (A.11)$$

13. В качестве начальных и граничных условий используются массивы глобального реанализа, либо, если моделирование проводится методом вложенных сеток, данные с более грубым пространственным разрешением.

14. Пространственное разрешение численной модели должно выбираться с учетом аэрографических особенностей акватории. При достаточном обосновании допускается производиться расчеты с шагом до 30 км. При выбранном разрешении выше 20 км допускается использование гидростатических региональных моделей атмосферы. При разрешении менее 20 км, а также в северных широтах, в зонах наличия ледников, необходимо использование негидростатических моделей атмосферы.

15. Граница области расчета характеристик скорости и направления ветра по региональной модели атмосферы должна быть максимально удалена от исследуемой акватории.

16. Шаг по времени должен составлять не более 6-ти часов.

17. Использованию модели должен предшествовать этап верификации в рамках сравнительного натурного эксперимента. Верификация должна производиться по данным с метеостанций, либо по данным, полученным в ходе проведения изыскательских работ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(рекомендуемое)

РАСЧЕТНЫЕ УРОВНИ ВОДЫ И МОДЕЛИ МОРСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

1. Расчет ветрового волнения в прибрежных акваториях следует выполнять с учетом фактической глубины места, которая должна учитывать изменения уровня вызванного гидродинамическими причинами.
2. При наличии рядов наблюдений уровень моря рекомендуется учитывать по данным ближайшего г/м поста.
3. При этом должны быть проведены натурные изыскания подтверждающие репрезентативность данных измерений для всей исследуемой акватории.
4. Высоту ветрового нагона Δh_{set} , м, в мелководной зоне акватории с постоянной глубиной d , м, допустимо определять по формуле

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L \cos \alpha_w}{g \left(d + \frac{1}{2} \Delta h_{set} \right)} \quad (\text{Б.1})$$

где

$$k_w = \alpha_w \frac{\rho_a}{\rho_w} C_{10} \quad (\text{Б.2})$$

α_w - угол между направлением ветра и нормалью к береговой черте, град.;

V_w - расчетная скорость ветра, м/с;

L - разгон, м;

α_w - коэффициент ($\alpha_w = 0.85$);

ρ_a/ρ_w - отношение плотности воды к плотности воздуха;

C_{10} - коэффициент сопротивления, который допускается определять по формуле

$$C_{10} = 7.1 \cdot 10^{-4} \left(1 + 0.1 \frac{V_w}{V_d} \right), \text{ при } V_d = 1 \text{ м/с} \quad (\text{Б.3})$$

5. Высоту ветрового нагона Δh_{set} , м, в прибрежной мелководной зоне с постоянным уклоном дна допустимо определять по формуле:

$$\Delta h_{set} = k \frac{V_w^2 L_m \cos \alpha_w}{g(d_1 - d - \Delta h_{set}^{(i-1)})} \ln \left(\frac{d_1}{d + \Delta h_{set}^{(i-1)}} \right) \quad (\text{Б.4})$$

где

d_1 - глубина, отвечающая расстоянию L_m от расчетного створа

до створа, в котором уровень соответствует исходному, м;

d - глубина в расчетной точке, м.

Глубину и положение створа в прибрежной зоне с уклоном дна i , где уровень соответствует исходному, необходимо оценивать из условий:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{gd_1}{V_w^2} \leq 3 \\ \frac{d_1 - d}{L_m} = i \end{array} \right\} \quad (\text{Б.5})$$

6. Высоту ветрового нагона в условиях больших глубин по отношению к высоте нагона ($d > \Delta h_{set}$) допускается определять по формулам:

$$\Delta h_{set} = k \frac{V_w^2 L_m \cos \alpha_w}{gd} \quad (\text{Б.6})$$

- для постоянной глубины;

$$\Delta h_{set} = k \frac{V_w^2 L_m \cos \alpha_w}{g(d - d_1)} \ln \frac{d_1}{d} \quad (\text{Б.7})$$

- для постоянного уклона дна.

Формулы (Б.6) и (Б.7) - упрощенный вариант формул (Б.1) и (Б.4). Расчеты по формулам (Б.1) и (Б.4) необходимо выполнять методом последовательных приближений, вычисляя первое приближение по формулам (Б.6) и (Б.7).

К конечному значению Δh_{set} необходимо вносить поправку на закон обратного барометра вида $\Delta h_{set} = \Delta h_{set} - P_a / (\rho_w g)$, где P_a - атмосферное давление. В случае приливного моря необходимо добавить также и приливную составляющую, выраженную в высоте прилива, определяемую согласно приливным таблицам на время расчета.

7. Высоту штормового нагона η_s , м, в прибойной зоне $d_{cr} < d < d_{cr, u}$ (d_{cr} - глубина первого обрушения и $d_{cr, u}$ - глубина последнего обрушения волн) допускается определять по формуле

$$\eta_s = \Delta h_{set} + \eta_0 \quad (\text{Б.8})$$

где

Δh_{set} - высота ветрового нагона, м;

η_0 - высота волнового нагона, м.

8. Высота ветрового нагона Δh_{set} , м, определяется в соответствии с п.п.4-6 данного Приложения.

9. В случае плоского наклонного дна для произвольной точки внутренней прибойной зоны допустимо определять волновой нагон η_0 по формуле

$$\eta_0 = G(\gamma)[d_{cr} - d_0], \quad (\text{Б.9})$$

где d_{cr} - глубина первого обрушения, $G(\gamma) = \left(1 + \frac{8}{3\gamma^2}\right)^{-1}$, $\gamma = \frac{\bar{h}}{D}$, $d = d_0 + \eta_0$, d_0 - глубина в штилевую погоду.

Модель морской циркуляции.

11. При расчете подъемов уровня для акваторий со сложной донной топографией и в приливных морях рекомендуется использовать мезомасштабные модели морской циркуляции.

12. Течения и термодинамические поля температуры, солёности формируются в результате сложных физических процессов, определяющих морскую циркуляцию под воздействием атмосферных факторов и приливов. Необходимо отметить, что бароклинный радиус деформации Россби в морях средних и высоких широт имеет величины порядка 5-15 км. Это значит, что значительный вклад в общую циркуляцию моря осуществляют бароклинные вихри с размером порядка двух радиусов Россби. Подобная вихревая структура отмечается в ряде работ, как по наблюдениям, так и по результатам численного моделирования. Поскольку мезомасштабные вихри

осуществляют значительный вклад в формирование сложной структуры поля течений, то они также будут в значительной степени определять распространение загрязняющих веществ, например, от аварийных разливов нефти. Следует отметить, что формирование мезомасштабных квазигеострофических вихрей происходит при активном взаимодействии течений и плотностной стратификации. Поэтому представляется необходимым и оправданным использование сложной и физически полной модели морской циркуляции высокого пространственного разрешения с прогностическим расчетом трехмерных полей течений, температуры и солености, и двумерных полей уровня моря и характеристик морского льда.

13. Наибольшие колебания уровня происходят под действием гидрометеорологических факторов, которые вызывают сгонно-нагонные колебания уровня, достигающие в прибрежных районах моря 1-2 м.

14. Модель морской циркуляции должна воспроизводить также приливную составляющую течений. Для этого на жидких участках расчетной акватории необходимо задавать колебания уровня, вызванные приливной волной с учетом не менее, чем 8 приливных гармоник. Наиболее перспективный метод их восстановления является использование современных моделей приливов, таких как модель TPXO (A TOPEX/Poseidon Global Tidal Model), основанной на данных спутниковой альтиметрии. Модель TPXO охватывает данные по приливному уровню по всему Мировому океану с пространственным разрешением около 25 км.

15. При наличии морского льда в исследуемой акватории необходим его учет, так как это является необходимым условием восстановления близкой к натурной структуре циркуляции морской циркуляции. Современные модели динамики-термодинамики морского льда состоят из 3-х модулей. Модуль термодинамики описывает намерзание льда, выпадение снега с дальнейшим превращением его в лед, а также их таяние за счёт тепловых процессов. Модуль динамики льда рассчитывает скорости его дрейфа, которая изменяется за счёт воздействия ветра, поверхностных течений океана,

суточного вращения Земли, наклона поверхности океана и взаимодействия льдин друг с другом, которое описывается упруго-вязко-пластичной реологией. Модуль переноса льда служит для расчёта эволюции ледяного и снежного покровов вследствие дрейфа, для чего используется монотонная схема переноса, обеспечивающая неотрицательность концентраций и массы снега и льда

16. Гидродинамическая модель должна быть адаптирована к условиям расчетной акватории. Наиболее перспективным подходом для этого является использование неравномерной пространственной сетки со сгущением в области исследуемого участка и удалением «жидких границ» от этого района. Таким образом, шаги по пространству в исследуемом районе могут составлять порядка 100–500 м, а при удалении от него сеточные шаги могут постепенно увеличиваться, достигая на периферии расчетной области 5–10 км. Использование неравномерного шага по пространству позволит моделировать циркуляцию, уровень моря и термохалинные характеристики с высоким пространственным разрешением, но в то же время учитывать влияние крупномасштабной циркуляции в прилегающей области.

17. Модели морской циркуляции используются для расчета основных параметров морской гидротермодинамики:

- 3-х мерные поля зональной и меридиональной компонентов скорости течений;
- 3-х мерные поля температуры и солёности;
- уровень моря;
- сплоченность и толщина морского льда.

18. Использованию модели должен предшествовать этап верификации в рамках сравнительного натурного эксперимента.

19. Современные модели морской динамики основаны на системе уравнений гидротермодинамики океана, в которой, помимо приближений гидростатики и Буссинеска, используется предположение о постоянном радиусе Земли, а все уравнения записываются в цилиндрическом слое над сферой.

20. Чтобы записать систему уравнений гидротермодинамики океана в обобщенных координатах, ее бывает удобно изначально записать в векторно-инвариантной форме. В криволинейной ортогональной z -системе обобщенных координат (x, y, z) с базисной системой локальных базисных векторов $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$, направленных вдоль соответствующих обобщенных координат, причем в каждой точке области океана базисный вектор \mathbf{k} сонаправлен радиусу Земли), система уравнений (в приближениях гидростатики и Буссинеска, радиус Земли положен постоянным) имеет вид:

$$\frac{\partial[\mathbf{U}]_h}{\partial t} = - \left[(\nabla \times \mathbf{U}) \times \mathbf{U} + \frac{1}{2} \nabla(\mathbf{U}^2) \right]_h - l \mathbf{k} \times [\mathbf{U}]_h - \frac{1}{\rho_0} [\nabla p]_h + D^U, \quad (\text{Б.10})$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho g, \quad (\text{Б.11})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0, \quad (\text{Б.12})$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \cdot (\theta \mathbf{U}) + D^\theta + R^\theta, \quad (\text{Б.13})$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\nabla \cdot (S \mathbf{U}) + D^S, \quad (\text{Б.14})$$

$$\rho = \rho(T, S, p), \quad (\text{Б.15})$$

где $\mathbf{U} = (u, v, w)$ – вектор скорости течения в точке (x, y, z) в координатах $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$; θ – потенциальная температура, S – соленость, $\nabla, \nabla \cdot, \nabla \times$ – соответственно операторы градиента, дивергенции и ротора; $[\cdot]_h$ – оператор проекции на подпространство (\mathbf{i}, \mathbf{j}) ; $l = 2(\Omega, \mathbf{k})$ – сила кориолиса, Ω – угловая скорость вращения Земли; D^U, D^θ и D^S – операторы параметризации маломасштабной физики (диффузии и вязкости), p – давление, ρ_0 – фоновая плотность, ρ – отклонение плотности от некоторого равновесного профиля, R^θ – внутренний источник тепла, обусловленный проникающей солнечной радиацией. Здесь в общей форме записи (1) не приводятся граничные условия для системы, поскольку их частный вид определяется видом турбулентных операторов D^U, D^θ и D^S .

21. В широко известных зарубежных моделях POM и ROMS, а также в российской INMOM, в качестве вертикальной координаты используется координата $\sigma \in [0,1]$, которая задается с помощью соотношения:

$$\sigma = \frac{z - \zeta(x, y, t)}{H(x, y) - \zeta(x, y, t)}, \quad (\text{Б.17})$$

где x и y – обобщенные горизонтальные координаты (которые здесь и далее полагаются ортогональными), z – направленная вниз обычная вертикальная координата по глубине, с началом на невозмущенной поверхности океана; H – глубина океана в состоянии покоя; ζ – отклонение уровня океана от невозмущенной поверхности.

Сигма-система координат позволяет лучше воспроизводить прибрежную циркуляцию моря, поскольку она позволяет плавное описание топографии морского дна.

МОДЕЛИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

1. Расчет элементов волн допускается выполнять в соответствии с рекомендациями главы 4 настоящих Указаний.
2. При сложных условиях волнообразования рекомендуется использование моделей ветрового волнения.
3. Использованию модели должен предшествовать этап ее верификации в рамках сравнительного натурного эксперимента или с привлечением базы данных реанализа и буйковых измерений.
4. Моделирование ветрового волнения заключается в решении численным способом уравнения переноса спектра волновой энергии $S(\omega, \theta)$ или волнового действия $n(\omega, \theta)$ вида

$$\frac{\partial \mathcal{S}}{\partial t} + C_x \frac{\partial \mathcal{S}}{\partial x} + C_y \frac{\partial \mathcal{S}}{\partial y} = F \equiv NL + IN - DIS \quad (B.1)$$

Слева в (B.1) стоит полная производная по времени от двумерного (частотно-углового) спектра волн $S \equiv S(\omega, \theta, \mathbf{x}, t)$, $(C_x, C_y) = C_g$ - групповая скорость, а правая часть (B.1) есть так называемая функция источника модели ветровых волн F . Функция F содержит три основных слагаемых, являющихся составными частями общего механизма эволюции ветровых волн: 1) скорость нелинейного переноса энергии по спектру, NL , 2) скорость передачи энергии от ветра к волнам, IN , и 3) скорость потерь энергии волн, DIS . В случае мелкой воды левой части (B.1) могут присутствовать слагаемые, ответственные за эффекты рефракции и влияния мелководья.

5. В сферической системе координат, в наиболее широко распространенном представлении использования спектра волнового действия $n(\omega, \theta)$, уравнение (B.1) имеет следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial t} n(\omega, \theta) + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda n(\omega, \theta) + \frac{\partial}{\partial \varphi} c_\varphi n(\omega, \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta n(\omega, \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} c_{ref} n(\omega, \theta) = P(\omega, \theta, \mathbf{U}), \quad (\text{B.2})$$

где ω - угловая частота, θ - направление распространения волнения, \mathbf{U} - скорость ветра, $\phi(\omega, \theta)$ - угловое распределение энергии, φ - широта, λ - долгота (сферические координаты-углы), $c_\varphi = c_g \frac{\sin \theta}{R}$, $c_\lambda = c_g \frac{\cos \theta}{R \cos \varphi}$,

$$c_\theta = -c_g \frac{\text{tg } \varphi \cos \theta}{R}, \quad c_g = \frac{1}{2} c \left(1 + \frac{2kD}{\text{sh}(2kD)} \right) - \text{ групповая скорость}, \quad c = \left[\frac{g}{k} \text{th}(kD) \right]^{1/2} -$$

фазовая скорость волн, $c_{ref} = \frac{\omega \left(\frac{\partial D}{\partial \lambda} \frac{\sin \theta}{\cos \varphi} - \frac{\partial D}{\partial \varphi} \cos \theta \right)}{\text{sh}(2kD)R}$, R - радиус земли. В левой

части уравнения (B.2): c_λ - составляющая групповой скорости волнения в меридиональном направлении, c_φ - составляющая в широтном направлении, c_θ - скорость отклонения волнового луча от полюсов к экватору, вызванная сферичностью Земли, c_{ref} - скорость поворота волнового луча вследствие рефракции, P - функция источников и стоков, включающая функцию взаимодействия волн и ветра (P^+), нелинейные взаимодействия в спектре ветровых волн (P^0) и диссипацию (P^-).

6. Для задания члена взаимодействия волн с ветром P^+ рекомендуется использовать формулу Майлза:

$$P^+ = \beta \omega n(\omega, \theta), \quad (\text{B.3})$$

где для задания β допускается использование эмпирических выражений.

Для описания диссипации допускается использование полуэмпирических формул, ограничивающих рост спектральной плотности на высокочастотном участке спектра.

7. Для описания члена нелинейных взаимодействий в спектре ветрового волнения P_{nl} допускается использование его упрощенных представлений. Они учитывают разную степень полноты и детализации данного члена.

8. Допускается использование следующих способов упрощения кинетического интеграла:

- «Интегрального» («спектрально-параметрического»);
- «Узконаправленного»;
- «Дискретного».

Интегральные модели ветрового волнения

9. В результате интегрирования (В.1) по волновым числам оно может быть сведено к следующему виду:

$$\frac{\partial \chi_m}{\partial t} + \bar{C} \frac{\partial \chi_m}{\partial x_a} = P_0, \quad (\text{В.4})$$

где χ_m – значение элемента ветрового волнения, \bar{C} – интегральная групповая скорость ветрового волнения, она пропорциональна энергии ветрового волнения в степени 3/8. P_0 – интегральная функция источников и стоков. В случае если уравнение (В.4) записывается для нескольких элементов волнения, данный подход к моделированию ветрового волнения называется «спектрально-параметрическим».

«Узконаправленное» приближение члена нелинейных взаимодействий

10. В рамках этого подхода от двухмерного спектра $n(\omega, \theta)$ переходят к двум интегральным функциям – спектру волновых чисел $\bar{n}(k_x)$ и параметру узконаправленности $\Delta(k_x)$:

$$n(\mathbf{k}) = n(\omega, \theta) / (kd\omega(k) / dk), \quad (\text{В.5})$$

$$\bar{n}(k_x) = \int n(\mathbf{k}) dk_y, \quad (\text{В.6})$$

$$\Delta(k_x) = \int k_y^2 n(\mathbf{k}) dk_y / n(k_x) k_x^2, \quad (\text{В.7})$$

где k_y - координата в пространстве волновых чисел перпендикулярная k_x , а направление k_x совпадает с генеральным направлением волнения. В этом

случае функция источников и стоков может быть записана следующим образом:

$$P_n = a_1 \frac{\partial^2}{\partial k_x^2} [\ln(\Delta^{-1}(k_x)) \Delta(k_x) k_x^{19/2} \bar{n}^3(k_x)] + \bar{P}_n^+ - \bar{P}_n^- \quad (B.8)$$

$$P_\Delta = \frac{-\Delta(k_x) P_n(\bar{n}(k_x)) + a_2 \bar{n}^3(k_x) k_x^{15/2} \Delta(k_x) \ln[\Delta^{-1}(k_x)] + \bar{P}_\Delta^+ - \bar{P}_\Delta^-}{\bar{n}(k_x)} \quad (B.9)$$

где P_n и P_Δ - функции источников и стоков для $\bar{n}(k_x)$ и $\Delta(k_x)$ соответственно, $\bar{P}_n^+(k_x) = \int P^+(\mathbf{k}) dk_y$, $\bar{P}_n^-(k_x) = \int P^-(\mathbf{k}) dk_y$, $\bar{P}_\Delta^+(k_x) = \int k_y^2 P^+(\mathbf{k}) dk_y$, $\bar{P}_\Delta^-(k_x) = \int k_y^2 P^-(\mathbf{k}) dk_y$.

«Дискретное» приближения члена нелинейных взаимодействий

11. Впервые приближение «дискретных взаимодействий» (DIA) было предложено в [Hasselmann et al, 1985] с целью наиболее сильного сокращения расчетов нелинейного слагаемого в функции источника, но одновременно с сохранением физики этого процесса. С тех пор оно получило широкое распространение во всех полно-спектральных волновых моделях.

Суть DIA заключается в том, что из всего разнообразия четверок взаимодействующих волн была выбрана только одна. Ее характеристики в полярных координатах записываются следующим образом. Волновые числа $k_1 = k_2$ равняются волновому числу k , которое характеризуется частотой ω и направлением θ . Волновое число $k_3 = k_+$, его частота определяется как $\omega_+ = \omega(1+j)$, а направление распространения как $\theta_+ = \theta + \Delta\theta_+$. Волновое число $k_4 = k_-$, его частота находится из соотношения $\omega_- = \omega(1-j)$, а направление распространения из соотношения $\theta_- = \theta - \Delta\theta_-$. Здесь j равняется 0,25, $\Delta\theta_+ = 11,5^\circ$, $\Delta\theta_- = 33,6^\circ$. Член нелинейных взаимодействий определяется следующим образом:

$$P_{nl} = C g^{-8} \omega^{19} \left[n^2(\mathbf{k})(n(\mathbf{k}_+) + n(\mathbf{k}_-)) - 2n(\mathbf{k})n(\mathbf{k}_+)n(\mathbf{k}_-) \right], \quad (B.10)$$

где $C = 3000$.

12. Сравнительно недавно было предложено приближение Fast DIA [Polnikov, Farina, 2002], которое позволяет ускорить расчет нелинейного слагаемого еще в 2 раза. Суть Fast DIA заключается в том, что вместо строго резонанса четверок взаимодействия, требующего выполнения интерполяции спектра $n(\omega, \theta)$ в фиксированные точки расчетной ω, θ - сетки, все вектора четверки взаимодействующих волн расположены именно на расчетной сетке, используемой в модели.

Для случая, когда расчетная сетка задана соотношениями

$$\sigma(i) = \sigma_0 \cdot e^{i-1} \quad (0 \leq i \leq I), \quad \theta(j) = -\pi + j \cdot \Delta\theta \quad (0 \leq j \leq J).$$

При значениях

$$e = 1.05 \quad \text{и} \quad \Delta\theta = \pi/18 \quad (\text{B.11})$$

оптимальная конфигурация четверки взаимодействующих волн в версии Fast DIA задается следующими соотношениями

а) по частотам

$$\sigma_1 = \sigma e^4, \quad \sigma_2 = \sigma e^5, \quad \sigma_3 = \sigma e^8, \quad (\text{B.12})$$

б) по углам

$$\theta_1 = \theta + 2\Delta\theta, \quad \theta_2 = \theta + 2\Delta\theta, \quad \theta_3 = \theta + 3\Delta\theta \quad (\text{B.13})$$

при известных величинах σ и θ (по которым, как отмечено выше, устраивается расчетный цикл). В остальном, оценка $NL[S(\sigma, \theta)]$ определяется типичными соотношениями для DIA. Подгоночная константа C для оптимизированной Fast DIA имеет значение 12000.

Моделирование волнения в мелководной зоне, зоне трансформации и обрушения волн и на огражденной акватории.

13. При моделировании ветрового волнения в мелководной зоне, зоне трансформации и обрушения волн уравнение (B.1) должно быть дополнено

членами донного трения и обрушения волн. Член донного трения допустимо задавать в следующем виде:

$$P_b^- = -\frac{\alpha f_w}{d} \frac{kd}{sh(kd)} u_b n(\omega, \theta) \quad (\text{B.16})$$

где $\alpha = \frac{8}{3\pi}$, f_w параметр донного трения, u_b орбитальная волновая скорость у дна:

$$u_b = \left[\int \frac{\omega^2}{sh^2(kd)} S(\omega, \theta) dk \right]^{1/2} \quad (\text{B.17})$$

Обрушение волн допустимо учитывать в виде:

$$P_{ds,br}^- = -D \frac{n(\omega, \theta)}{E}, \quad (\text{B.18})$$

где D – эмпирическое выражение, E – полная энергия волнения.

14. На огражденной акватории скорости распространения изменяются под воздействием дифракции. Скорости распространения с учетом дифрагирования будут равны:

$$c_x = c_{x,0} \bar{\delta}, \quad c_y = c_{y,0} \bar{\delta}, \quad c_{ref} = c_{ref,0} \bar{\delta} - \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial x} c_{y,0} + \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial y} c_{x,0}, \quad (\text{B.19})$$

где

$$\bar{\delta} = \sqrt{1 + \delta},$$

$$\delta = \frac{\nabla(cc_g \nabla \sqrt{E})}{cc_g \sqrt{E}},$$

c и c_g – фазовая и групповая скорость соответственно.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМА ВОЛНЕНИЯ

1. При исследовании режима ветрового волнения искомые характеристики рекомендуется разделять на 2 группы: частой повторяемости (“нормальные”, “фоновые”, “эксплуатационные”) с вероятностью появления до и редкой повторяемости (“экстремальные”, “расчетные”), возможные 1 раз в 5, 10, ..., 100 лет и более.

Методы определения оперативных характеристик ветрового волнения

2. При исследовании оперативных характеристик ветрового волнения допустимо использовать 10-летний ряд расчетов/наблюдений

Метод расчета оперативных характеристик ветрового волнения по типовым картам атмосферного давления.

3. Исходной информацией при данном методе является данные синоптических карт.

4. Скорость ветра V_w , м/с, над водной поверхностью на горизонте $Z = 10$ м следует определять по формулам (А.1, А.2)

5. Расчет характеристик волнения ведется не для всех полей приземного давления за выбранный интервал времени, а лишь для тех, которые признаны типовыми.

6. Выделению типовых полей давления состоит из этапов. На первом этапе проводится районирование всего моря. В каждом районе моря выделяют наиболее репрезентативную точку. По скорости и направлению ветра в данной точке все поля давления разделяют на типы и подтипы. В направлении ветра выделяют 8 румбов (С, СВ, В и т.д.), а скорость ветра разбивают на градации с шагом 5 м/с (0-5, 6-10, 10- 15 м/с и т.д.). Сочетание каждого румба и градации называется типом. В соответствии со спецификой барического поля над всем морем в типах выделяют подтипы. Например, тип

– северный ветер 0-5 м/с, подтип – циклон над северо-западной частью моря или подтип – гребень над центральной частью моря и т.д.

7. В каждом типе (или подтипе, если они выделены) выбирается одна синоптическая карта (типовая), которой приписывается повторяемость всех карт, попавших в данный тип.

8. Расчет элементов волнения следует определять в соответствии с формулами (4.1-4.7) для глубоководных акваторий и (4.1-4.8) для мелководных акваторий.

9. По полученным значениям элементов волн и с учетом повторяемости типа/подтипа строят эмпирические распределения высот и периодов волн. Эмпирические распределения аппроксимируются распределением Вейбулла:

$$F(\bar{h}) = \exp \left[- \ln 2 \left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_{0,5}} \right)^\gamma \right], \quad (\Gamma.1)$$

$\bar{h}_{0,5}$ – медианное климатическое значение средней высоты волны, γ – параметр распределения.

***Метод расчета оперативных характеристик ветрового волнения
с использованием региональных атмосферных моделей.***

10. Исходной информацией для данного метода являются г/м данные, хранящиеся на электронных носителях. С использованием формул (А.7-А10) рассчитываются поля приземного ветра за выбранный период времени. Расчет ведется для всех сроков наблюдения с шагом по времени не более 6 часов.

11. Данные поля являются входной информацией для моделей ветрового волнения (В.1). По всем полям приземного ветра рассчитываются поля элементов волн.

12. Для каждой точки сеточной области по полученным значениям элементов волн строят эмпирические распределения высот и периодов волн.

Эмпирические распределения аппроксимируются распределениями, приведенными в разделе (*Выбор теоретического распределения для режимной функции высот ветрового волнения*) настоящего Приложения. Для этого используется метод наименьших квадратов или метод моментов. Предпочтение отдается тому из теоретических распределений, который дает наилучшую сходимость с исходным рядом рассчитанных элементов волн.

Выбор теоретического распределения для режимной функции высот ветрового волнения

13. Для аппроксимации эмпирических распределений теоретическими допустимо использовать два распределения:

лог-нормальное

$$F(x) = \frac{S}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2} \ln^2(x)^S\right] dx \quad (\Gamma.2)$$

и Вейбулла (Г.1).

14. Лучшую сходимость с эмпирическими данными распределение Вейбулла дает при незначительном содержании зыби в волнении. Логнормальное распределение приводит к удовлетворительному согласию с данными наблюдений при волнении с большим вкладом зыби.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ.

15. Базовый период расчетов/наблюдений для определения расчетных характеристик ветрового волнения должен быть не менее 30 лет. Рекомендуется использование моделей региональной модели атмосферы (А.7-А.10) и модели ветрового волнения (В.1). Модель ветрового волнения должна учитывать все известные процессы, влияющие на генерацию и распространение ветровых волн и зыби.

Метод расчета расчетных характеристик ветрового волнения по годовым максимумам.

16. В пределах каждого года находят наибольшее значение высоты (h_{max}), и для дальнейшего анализа принимается последовательность значений; $h_{max,i}$, $i = 1, \dots, N$, где $h_{max,i}$ - наибольшая высота волн в i -том году, N – общее число отобранных лет.

17. Используя методы порядковых статистик, строят эмпирическую функцию распределения годовых максимумов:

$$F_y(h_{max}) = \frac{i}{N+1}, \quad (\Gamma.3)$$

где i - порядковый номер высоты волны в ранжированной выборке (номер 1 присваивается наибольшей высоте волны за весь период времени). Эмпирическое распределение аппроксимируют распределением Гумбеля:

$$F_y(h_{max}) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha - h_{max}}{\beta}\right)\right]. \quad (\Gamma.4)$$

Высоту волны h_T с заданным периодом повторяемости T (год) находят из соотношения

$$h_T = \alpha - \beta \ln\left[-\ln\left(\frac{1}{T}\right)\right], \quad (\Gamma.5)$$

где α и β - параметры распределения Гумбеля (Г.4).

Метод расчета расчетных характеристик ветрового волнения по наиболее сильным штормам (Пики-Выше-Порога).

18. В рамках данного метода расчет ведется для конкретной точки акватории. Если надо рассчитать расчетные характеристики ветрового волнения для нескольких точек акватории, то процедуру придется повторить для каждой из них.

19. На первом этапе производится отбор наиболее сильных штормов за весь базовый период расчетов/наблюдений для конкретной точки акватории. Отбор штормов осуществляется путем анализа прибрежных и судовых наблюдений за ветром и волнами, а также анализа исторических синоптических карт. Оптимальным числом штормов, по которому проводится расчет, является значение порядка 30-40.

20. На втором этапе рассчитывают по модели ветрового волнения (В.1) в каждом шторме элементы волн. В пределах каждого шторма находят наибольшее значение высоты, и для дальнейшего анализа принимается последовательность значений; $h_{max,i}$ $i = 1, \dots, N$, где $h_{max,i}$ - наибольшая средняя высота волн в i -том шторме, N – общее число отобранных штормов.

21. Используя методы порядковых статистик, строят эмпирическую функцию распределения наибольших значений высот волн в штормах:

$$F_s(h_{max}) = \frac{i}{N + 1}, \quad (\text{Г.6})$$

где i - порядковый номер высоты волны в ранжированной выборке (номер 1 присваивается высоте волны в наиболее сильном шторме). Эмпирическое распределение рекомендуется аппроксимировать распределением Вейбулла (Г.1).

22. Свертка полученной функции распределения наибольших высот волн в штормах с функцией числа сильных штормов за год $P(m)$ есть функция распределения наибольших высот волн за год:

$$F_y(h_{\max}) = 1 - \exp[-LF_s(h_{\max})], \quad (\Gamma.7),$$

где L - среднее число сильных штормов за год

Высоту волны с заданным периодом повторяемости T находят из соотношения:

$$h_T = \exp \left[\frac{\ln \left(-\ln \left(-\frac{\ln \left(\frac{T-1}{T} \right)}{L} \right) \right) + \beta \ln \alpha}{\beta} \right] \quad (\Gamma.8)$$

**РЕКОМЕНДУЕМЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ,
РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ**

При определении элементов волн на открытых и огражденных акваториях допускается наряду с рекомендациями настоящих указаний руководствоваться требованиями нормативных документов, руководящих документов и пособий.

Нормативные документы

1. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*

Руководящие документы

2. РД 31.33.02-81. Методические указания по определению ветровых и волновых условий при проектировании морских портов. / Союзморниипроект. - М., 1981.
3. РД 31.33.04-84. Определение скоростного напора ветра над акваториями для расчета ветровых нагрузок на портовые сооружения. /Союзморниипроект. - М., 1984.

Пособия

1. Теория солитонов: Метод обратной задачи. Авт.: Захаров В. Е., Манаков С. В., Новиков С. П., Питаевский Л. П. — М., Наука, 1980. — 320 с.
2. Руководство по морским гидрологическим прогнозам/Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации. Гидрометеоздат, - Санкт-Петербург, 1994, 526 с.
3. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты. Авт.: Д.Д. Лаппо, С.С. Стрекалов, В.К. Завьялов/ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева.- Л., 1990, 432 с.

4. Ветер, волны и морские порты. Ред. Ю.М. Крылов/Гидрометеиздат. - Л, 1986, 262 с.
5. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения. Ред. И.Н. Давидан/ Гидрометеиздат. - Санкт-Петербург, 1995, 472 с.
6. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. Авт.: И.В. Лаврёнов/Гидрометеиздат. - Санкт-Петербург, 1998, 500 с.
7. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в океанах и морях. Авт.: Абузьяров З.К., Нестеров Е.С., Кабатченко И.М., Лукин А.А., Давидан И.Н., Дымов В.И., Вражкин А.Н. - М, Информполиграф, 2013
8. The WAM Model - a third generation ocean wave prediction model. The WAMDI Group. - J.Phys.Ocean., 1988, vol. 18.