

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

С В О Д П Р А В И Л

СП 38.13330...

**НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ**

Актуализированная редакция

СНиП 2.06.04-82*

**Проект пересмотра
2-я редакция**

Москва 20...

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки – постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил».

Сведения о своде правил

- 1 ИСПОЛНИТЕЛЬ – ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева»
- 2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»
- 3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики
- 4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)
- 5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте разработчика (Минрегион России) в сети Интернет

© Минстрой России, 20...

Настоящий нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минрегиона России

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	1
4 Общие положения	4
5 Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения	4
6 Нагрузки от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения	21
7 Ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения	29
Приложение А Элементы волн на открытых и огражденных акваториях	55
Приложение Б Определение высоты ветрового нагона	66
Приложение В Оценка устойчивости грунта, подверженного гидродинамическому воздействию (волны, течения)	67
Приложение Г Определение волновой нагрузки на вертикальные стены	71
Приложение Д Определение высоты наката волн на откос	75
Приложение Е Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения	79
Приложение Ж Построение эпюр давления от судовых волн	94
Приложение И Учет экранирования при воздействии на суда ветровых нагрузок	96
Приложение К Коэффициент сопротивления от воздействия течения на плавучие объекты	97
Приложение Л Расчет нагрузки от навала пришвартованного судна на причальное сооружение при волнении	99
Приложение М Определение энергии навала судна при подходе к причальному сооружению	105
Приложение Н Определение усилий в швартовных канатах	109
Приложение П Испытание льда на одноосное сжатие	110
Приложение Р Гряды торосов	113
Библиография	116

Введение

Настоящая 1 редакция пересмотра свода правил СП 38.13330.2012 “Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция. СНиП 2.06.04-82*” выполнена Открытым Акционерным Обществом «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (канд. техн. наук *А.П. Пак* руководитель темы), д-р техн. наук *В.Б. Глаговский*, вед. научн. сотр. *А.Б. Векслер*, гл. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук, профессор *В.И. Климович*, зав. лаб., канд. техн. наук *Н.С. Бакановичус*, вед. науч. сотр., канд. техн. наук *И.Н. Шаталина*, рук. группой *А. А. Лялина*) при участии канд. техн. наук *П.М. Кожевникова* (ЗАО «ГТ Морстрой»).

Актуализация СНиП 2.06.04-82*, утвержденная приказом Минрегиона России от 29 декабря 2011 г. № 635/12, была выполнена Открытым Акционерным Обществом «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (канд. техн. наук *А.П. Пак* руководитель темы), д-ра техн. наук *Е.Н. Беллендир*, *В.Б. Глаговский*, вед. научн. сотр. *А.Б. Векслер*, гл. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук, профессор *В.И. Климович*, зав. лаб., канд. техн. наук *Н.С. Бакановичус*, вед. науч. сотр., канд. техн. наук *И.Н. Шаталина*, д-р техн. наук, профессор *М.А. Колосов* (СПГУВК), д-р техн. наук, профессор *П.А. Гарибин* (СПГУВК), вед. науч. сотр., канд. техн. наук *П.М. Кожевников* (филиал ОАО «26 ЦНИИ») с учетом замечаний и предложений специалистов ФГУП ГНЦ РФ «ЦНИИ им. академика Крылова», ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», Института водных проблем РАН, ОАО «ДНИИМФ», ЗАО «ГТММорстрой», филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», ГУ «Государственный гидрологического институт», Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Сочинского государственного университета туризма и курортного дела, Российского государственного гидрометеорологического университета.

Разработка СНиП 2.06.04.82* (изданий 1983 1995 гг.) осуществлялась ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева Минэнерго СССР (д.т.н. Д.Д.Лаппо – научный руководитель и редактор, к.т.н. А.П.Пак – руководитель темы, д.т.н. А.Л.Гольдин, кандидаты т.н. М.Г.Гладков, В.Н.Карнович, Л.Б.Певзнер, В.С.Прокопович и И.Н.Шаталина; И.Я.Попов и О.С.Наумов) при участии организаций Минобороны СССР (д.т.н. П.П.Кульмач, д.т.н. А.М.Жуковец, кандидаты т.н. Б.В.Балашов, Н.Г.Заритовский, Н.Н.Загрядская, В.В.Каплун, С.С.Мищенко); Союзморниипроекта Минморфлота СССР (д.ф.-м.н. Ю.М.Крылов, к.ф.-м.н. С.С.Стрекалов, к.т.н. И.Н.Тишкин), ИВП АН СССР (Г.Ф.Красножон); ГОИН (д.ф.-м.н. Г.В.Матушевский), ААНИИ (кандидаты ф.-м.н. В.П.Трипольников и Б.А.Федотов), ГМНИЦ (д.г.н. М.Б.Гинзбург, к.г.н. К.Н.Полякова) Роскомгидромета; ЦНИИС Минтрансстроя (д.т.н. А.Н.Кузнецов, кандидаты т.н. Г.Д.Хасхачих и Л.А.Морозов); ЛИВТ Минречфлота РСФСР (д.т.н. В.К.Штенцель); СПбГТУ (д.ф.-м.н. К.Н.Шхинек, к.т.н. Д.Г.Мацкевич) и МИСИ им. В.В.Куйбышева (д.т.н. Г.Н.Смирнов, кандидаты т.н. Г.Н.Евдокимов, С.И.Рогачев и И.Ш.Халфин) Минвуза СССР; СибГАПС МПС (д.т.н. К.Н.Коржавин, к.т.н. А.Б.Ивченко); Гипроморнефтегаз (кандидаты т.н. М.Ф.Курбанов и В.Г.Саркисов) и ВНИПИ Морнефтегаз (д.ф.-м.н. С.А.Вершинин, к.т.н. Д.А.Мирзоев) Мингазпрома.

СВОД ПРАВИЛ

**НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ
(ВОЛНОВЫЕ, ЛЕДОВЫЕ И ОТ СУДОВ)**

Loads and impacts on Hydraulic structures (from wave, ice and ships)

Дата введения 20---00-00

1 Область применения

Настоящий свод правил распространяется на проектирование вновь строящихся, реконструкцию и ремонт существующих речных и морских гидротехнических сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил приведены ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 19185–73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия»

СП 58.13330.2012 «СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Изменение № 1»

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

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

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

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

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

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

3.5 вершина волны: Наивысшая точка гребня волны (рисунок 1);

3.6 гребень волны: Часть волны, расположенная выше средней волновой линии (рисунок 1);

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

3.8 длина волны: Горизонтальное расстояние по лучу волны между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле (рисунок 1);

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

3.10 киль тороса: Подводная часть тороса, расположенная ниже его консолидированного слоя;

3.11 консолидированный слой тороса: Часть тороса, в которой образовавшие его блоки льда смерзлись в монолит;

3.12 критическая глубина: Глубина, при которой происходит обрушение волн;

3.13 ледяное поле: Любой относительно плоский участок ледяного покрова более 20 м в поперечнике, окруженный со всех сторон водой;

3.14 ледяной покров: Любая форма образований поверхностного льда, покрывающего в холодное время года поверхность водоема или принесенного течениями и ветрами из соседних районов; среди форм ледяного покрова различают ровный лед, наслоенный лед, торосистое ледяное поле с грядами торосов, отдельные торосы и пр.;

3.15 ложбина волны: Часть волны, расположенная ниже средней волновой линии (рисунок 1);

3.16 луч волны: Линия, перпендикулярная фронту волны;

3.17 льдина: Цельная часть ледяного покрова сравнительно небольшого размера, образующаяся на водной поверхности при постепенном росте льда или от разрушения ледяных полей;

3.18 наслоенный лед: Тип деформированного льда, образовавшегося в результате наслоения одной льдины на другую и характерный для льда толщиной не более 30 см;

3.19 нерегулярные волны: Волны, элементы которых изменяются случайным образом;

3.20 парус тороса: Надводная часть тороса;

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

3.22 подвижка льда: Перемещение ледяного покрова на отдельных участках, происходящее под влиянием течения, ветра, подъема уровня воды;

3.23 подошва волны: Наиниžшая точка ложбины волны;

3.24 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;

3.25 профиль волны (главный): Линия пересечения взволнованной поверхности с вертикальной плоскостью в направлении луча волны (рисунок 1);

3.26 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);

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

3.28 расчетный уровень: Уровень воды в водоеме, назначаемый с учетом сезонных и годовых колебаний, ветрового нагона и сгона, приливов и отливов (рисунок 1);

3.29 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;

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

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

3.32 ровный лед: Лед, имеющий относительно ровные верхнюю и нижнюю поверхности;

3.33 скорость волны: Скорость перемещения гребня волны в данной точке;

3.34 соленость морского льда: Отношение суммарной массы ионов в образовавшемся при таянии льда растворе к массе этого раствора;

3.35 средняя волновая линия: Линия, пересекающая запись волновых колебаний так, что суммарные площади выше и ниже этой линии одинаковы (рисунок 1);

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

3.37 толщина ровного льда: Сумма толщин надводной и подводной частей ледяного покрова;

3.38 торос: Отдельное нагромождение кусков и обломков льда, образовавшегося при сжатии ледяных полей в зоне их контакта;

3.39 торосистое ледяное поле: Поле с грядами торосов, образовавшихся при сжатии ледяного покрова;

3.40 трансформация волн: Изменение высоты и длины бегущих волн, искривление их фронтов под воздействием рельефа дна, препятствий, течений;

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

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

3.43 элемент волны (основные): Высота, длина и/или период волны (рисунок 1).



Рисунок 1 – Профиль и элементы волны

4 Общие положения

4.1 В своде правил установлены нормативные значения нагрузок и воздействий от ветровых волн, льда и судов на гидротехнические сооружения.

Расчетная нагрузка должна определяться как произведение нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузкам γ_f , учитывающий возможное отклонение нагрузки в неблагоприятную сторону от ее нормативного значения.

Значение коэффициента γ_f для нагрузок волновых, ледовых и от судов должно приниматься согласно требованиям, приведенным в СП 58.13330, для ветровых нагрузок – согласно требованиям СП 20.13330.

4.2 Расчетные элементы волн и ледовых условий на открытых и огражденных акваториях следует принимать на основе результатов инженерно-гидрометеорологических изысканий, многолетних натурных наблюдений и лабораторных исследований. Правила выполнения указанных изысканий приведены в сводах правил на инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства, в том числе, для строительства нефтегазопромысловых сооружений на континентальном шельфе.

4.3 Нагрузки и воздействия волн и льда на сооружения I класса, а также на сооружения других классов при расчетной высоте волн более 5 м, полученные расчетными методами, необходимо уточнять на основе лабораторных исследований.

5 Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения

Основные расчетные положения

5.1 Определение волновых нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения должно производиться для условий расчетного шторма при расчетных уровнях воды в акватории.

5.2 В качестве расчетного шторма следует принимать шторм повторяемостью для сооружений класса:

I – 1 раз в 100 лет;

II – 1 раз в 50 лет;

III и IV – 1 раз в 25 лет.

5.3 Параметры волнения при расчетном шторме: значения высоты, длины и периода волн различной обеспеченности в системе, а также спектральная плотность волнения – должны приниматься по результатам статистической обработки результатов инженерно-гидрометеорологических наблюдений.

При недостаточности данных инженерно-гидрометеорологических изысканий определение параметров волнения расчетного шторма следует производить на основании расчетных методов с последующей их верификацией (проверкой) по имеющимся данным наблюдений в конкретном месте изысканий. При отсутствии таких данных допустима верификация для акваторий со схожими условиями волнообразования.

5.4 При определении расчетных значений элементов волн на открытых и огражденных акваториях необходимо учитывать следующие волнообразующие факторы: скорость ветра (ее значение и направление), продолжительность непрерывного действия ветра над водной поверхностью, размеры и конфигурацию охваченной ветром акватории, рельеф дна и глубину воды.

5.5 Расчетные уровни воды и характеристики ветра необходимо определять по результатам статистической обработки данных многолетних рядов наблюдений.

5.6 Расчеты элементов волн должны производиться с учетом деления акватории на следующие зоны по глубине (буквенные обозначения – приложения А и С):

глубоководная – с глубиной $d > 0,5\lambda$, где дно не влияет на основные характеристики волн;

мелководная – с глубиной $0,5\lambda \geq d > d_{cr}$, где дно оказывает влияние на развитие волн и на основные их характеристики;

прибойная – с глубиной от d_{cr} до $d_{cu,r}$, в пределах которой начинается и завершается разрушение волн;

приурезовая – с глубиной менее $d_{cu,r}$, в пределах которой поток от разрушенных волн периодически накатывается на берег.

Характеристики волнения, соответствующие расчетным обеспеченностям скорости ветра и уровня воды в акватории, должны определяться с учетом трансформации волн – изменения их параметров под воздействием течений и с выходом на мелководье, рефракции при сложном рельефе и негоризонтальном дне, дифракции на оградительных сооружениях, обрушения.

Определение параметров волнения должно производиться расчетно-теоретическими методами на основе современных программно-вычислительных комплексов или с использованием номограмм (приложение А) и имеющихся апробированных методов.

5.7 Расчетную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать:

при определении защищенности портовых акваторий 5 %;

при определении наката волн 1 %;

при определении устойчивости и прочности гидротехнических сооружений и их элементов по таблице 1.

Для сооружений I класса и для всех сооружений с периодом собственных колебаний более 2 с необходимо учитывать спектральные характеристики волнения (частотный спектр).

Т а б л и ц а 1

Гидротехнические сооружения	Расчетная обеспеченность высот волн в системе, %, не более
Сооружения вертикального профиля, оградительные сооружения откосного профиля	1
Сквозные сооружения и обтекаемые преграды класса:	
I	1
II	3
III, IV	5
Берегоукрепительные сооружения класса:	
I, II	1
III, IV	5
П р и м е ч а н и я 1 При определении нагрузок на сооружения необходимо принимать высоту волны заданной обеспеченности в системе h_i и длину волны в диапазоне $(1 - 1,4)\lambda$, при которой оказывается максимальное воздействие на сооружение; для сквозных конструкций следует определять максимальное воздействие волн при длине расчетной волны в пределах $(0,8 - 1,4)\lambda$. 2 При назначении высотных отметок сквозных сооружений, возводимых на открытых акваториях, расчетную обеспеченность высот волн в системе следует принимать 0,1 %.	

5.8 Максимальный расчетный уровень воды необходимо принимать согласно требованиям сводов правил на проектируемые сооружения (объекты).

5.9 При определении нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения обеспеченности расчетных уровней должны быть не более: для сооружений I класса – 1 %, II и III классов – 5 %, IV класса – 10 % по наивысшим годовым уровням, определенных с учетом приливо-отливных явлений, сезонных колебаний, ветрового и волнового нагонов.

Примечания

1 В безливных морях для подпорных гравитационных волнозащитных стен II класса и для искусственных пляжей без волнозащитных сооружений обеспеченность расчетных уровней следует принимать равной 1 %.

2 При рассмотрении размывов основания вблизи сооружения и мероприятий по защите от размыва следует выбирать расчетный уровень воды, исходя из условия максимального воздействия волн на элементы гидротехнических сооружений.

5.10 Высоты ветрового и волнового нагонов следует принимать по данным натурных наблюдений. Для сооружений III и IV классов высоты ветрового и волнового нагонов при отсутствии данных натурных наблюдений определяются расчетом (приложение Б).

5.11 При динамических расчетах и оценке усталостной прочности элементов конструкций гидротехнических сооружений следует учитывать спектральную плотность ветрового волнения, характеризующую его нерегулярность.

5.12 Воздействие шторма, в том числе в сочетании с течением, на дно акватории у основания гидротехнического сооружения должно оцениваться сравнением значений максимальной придонной скорости и неразрывающей (допускаемой) придонной скорости или соответствующих касательных напряжений, характеризующих грунт, слагающий дно, или материал, используемый для защиты дна от размыва и подмыва основания сооружения (приложение В).

Особенности расчета воздействия волн на сооружения различных типов

Нагрузки на вертикальные стены

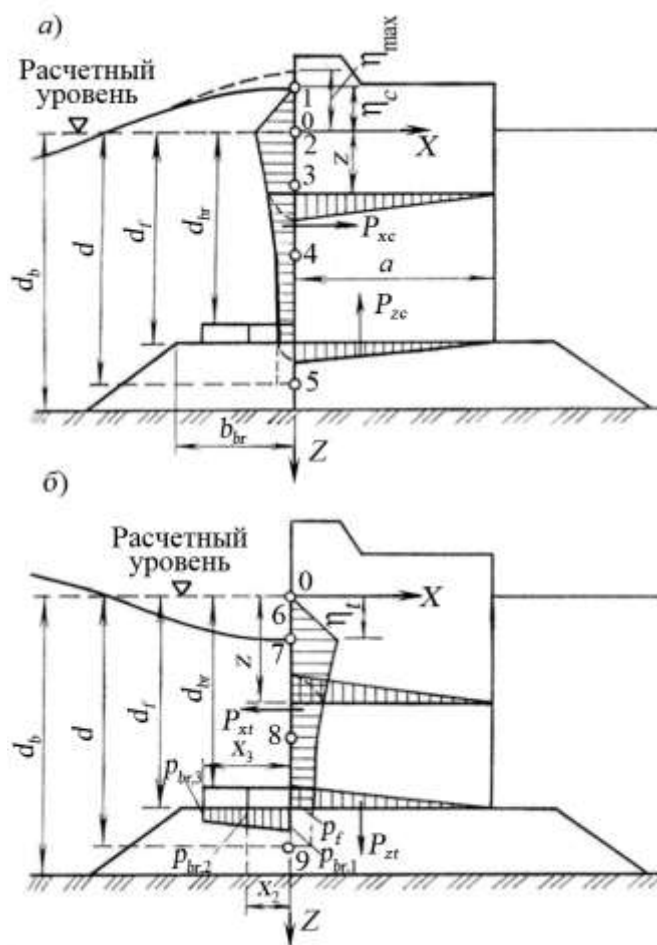
5.13 Расчет сооружений на воздействие стоячих волн со стороны открытой акватории (рисунок 2) должен производиться при глубине до дна $d_b > 1,5h$ и глубине над бермой $d_{br} \geq 1,5h$; при этом в формулах для свободной волновой поверхности и волнового давления вместо глубины до дна d_b , м, необходимо применять условную расчетную глубину d , м, определяемую по формуле

$$d = d_f + k_{br} (d_b - d_f), \quad (1)$$

где d_f – глубина над подошвой сооружения, м;

k_{br} – коэффициент, принимаемый по графикам рисунка 3;

h – высота исходной бегущей волны, м.



a – при гребне волны; *б* – при ложбине волны
(с эпюрами взвешивающего волнового давления)

Рисунок 2 – Эпюры давления стоячих волн на вертикальную стену со стороны открытой акватории

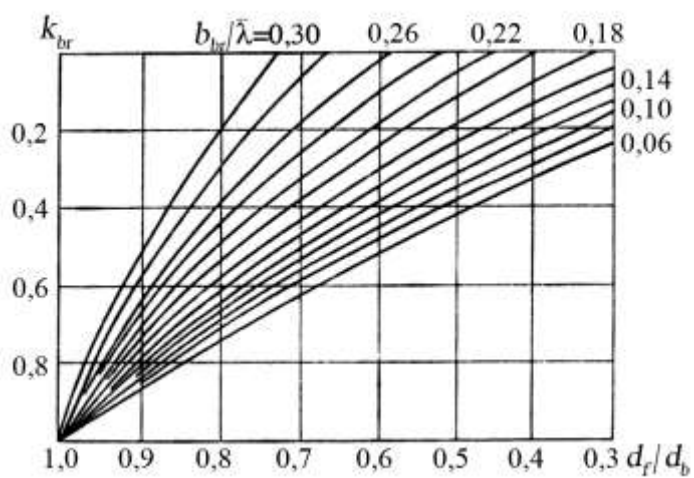


Рисунок 3 – Графики значений коэффициента k_{br}

5.14 Горизонтальную волновую нагрузку P_x на вертикальную стену под воздействием стоячей волны следует принимать по эпюрам волнового давления p по глубине при различных удалениях вершины волны от стены.

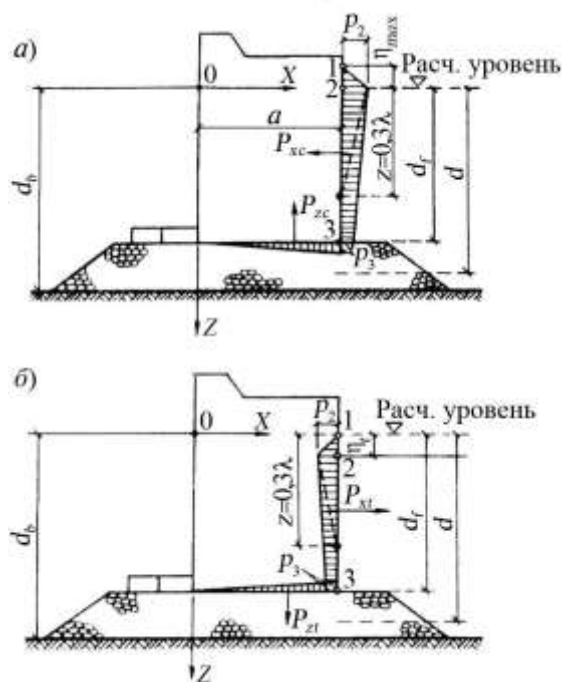
Построение эпюр волнового давления p должно производиться по результатам экспериментальных исследований и/или гидродинамических расчетов, а при их отсутствии на основе способа, приведенного в приложении Г.

5.15 В расчетах устойчивости сооружения и прочности грунтов основания следует учитывать уменьшение волновой нагрузки на секцию вертикальной стены при подходе фронта волны под углом α , град. Коэффициент k_{cs} снижения нагрузки при этом принимается по таблице 2:

Т а б л и ц а 2

α , град	< 45	60	75
k_{cs}	1	0,9	0,7

5.16 В расчетах следует учитывать горизонтальную нагрузку от дифрагированных волн со стороны огражденной акватории (рисунок 4).



а – при гребне волны; б – при ложбине волны

Рисунок 4 – Эпюры давления дифрагированных волн на вертикальную стену и ее подошву со стороны огражденной акватории

5.17 Взвешивающее волновое давление в горизонтальных швах массивной кладки и по подошве сооружения следует принимать равным соответствующим значениям горизонтального волнового давления в крайних точках (рисунки 2 и 4) при линейном изменении его в пределах ширины сооружения.

5.18 Максимальную придонную скорость $V_{b,max}$, м/с, от действия стоячих волн на расстоянии $0,25\lambda$ от передней грани стены следует определять по формуле

$$V_{b,\max} = \frac{2k_{sl}\pi h}{Tshkd_b}, \quad (2)$$

где коэффициент $k_{sl} = 0,25\left(\frac{\lambda}{h}\right)^{0,4}$, при $\frac{\lambda}{h} \geq 30$ $k_{sl} = 1,0$;

$k = 2\pi / \lambda$ – волновое число.

Максимальное значение касательного напряжения на поверхности дна $\tau_{w,\max}$, кПа, от воздействия волн следует определять по формуле

$$\tau_{w,\max} = \frac{1}{2} \rho f_w V_{b,\max}^2, \quad (3)$$

где $f_w = 0,237(a_0/k_s)^{-0,52}$ – коэффициент трения; при $a_0 \leq 0,63k_s$ $f_w = 0,3$;

$a_0 = V_{b,\max} T / 2\pi$;

T – период волны, с;

ρ – плотность воды, т/м.

$k_s = k_{s,gr} + k_{s\Delta}$ – суммарная гидравлическая шероховатость дна;

$k_{s,gr} = \alpha D_{50}$ ($\alpha = 2-4$, как правило, принимается $\alpha = 2,5$) – шероховатость плоского (без русловых форм) дна, сложенного грунтом средней крупностью D_{50} , м;

$k_{s\Delta} = 1,1D_b [1 - \exp(-25D_b / L_b)]$ – шероховатость, обусловленная донными формами средней высотой D_b , м, и средней длиной L_b , м.

Среднее за период T значение касательного напряжения на поверхности дна $\bar{\tau}_w$, кПа, от воздействия волн должно определяться по формуле

$$\bar{\tau}_w = \frac{1}{2} \tau_{w,\max}. \quad (4)$$

Возможность размыва дна акватории у основания сооружений следует оценивать сравнением $V_{b,\max}$ и/или $\tau_{w,\max}$ с допускаемыми значениями этих величин, при которых грунт остается устойчивым. При превышении этих значений должны разрабатываться мероприятия, обеспечивающие защиту от размыва и подмыва основания сооружения (приложение В).

5.19 Расчет сооружений на воздействие разбивающихся волн со стороны открытой акватории должен производиться при глубине над бермой $d_{br} < 1,25h$ и глубине до дна $d_b \geq 1,5h$ (рисунок 5). Горизонтальную нагрузку P_{xc} , кН/м, от разбивающихся волн следует определять по эпюре бокового волнового давления, при построении которой значения p , кПа, для ординат z , м, следует принимать по формулам:

$$z_1 = -h \quad p_1 = 0, \quad (5)$$

$$z_2 = 0 \quad p_2 = 1,5\rho gh, \quad (6)$$

$$z_3 = d_f \quad p_3 = \frac{\rho gh}{chkd_f}. \quad (7)$$

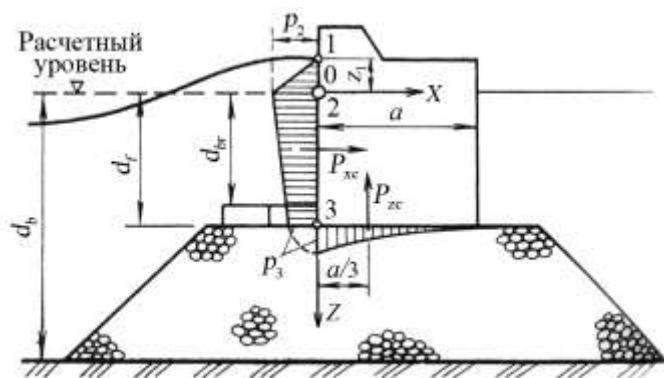


Рисунок 5 – Эпюры давления разбивающихся волн на вертикальную стену

Вертикальную нагрузку P_{zc} , кН/м, от разбивающихся волн следует принимать равной площади эпюры взвешивающего волнового давления и определять по формуле

$$P_{zc} = \mu \frac{p_3 a}{2}, \quad (8)$$

где μ – коэффициент, принимаемый равным $\mu = 0,55 + 0,05 \frac{a}{d_b - d_f}$; при $\frac{a}{d_b - d_f} \leq 3$

следует принимать $\mu = 0,7$; при $\frac{a}{d_b - d_f} \geq 9$ $\mu = 1,0$.

Максимальную придонную скорость воды $V_{f,max}$, м/с, над поверхностью бермы перед вертикальной стеной при разбивающихся волнах следует определять по формуле

$$V_{f,max} = \sqrt{\frac{gh}{chkd_f}}. \quad (9)$$

5.20 Расчет сооружений на воздействие прибойных волн должен производиться при глубине $d_b \leq d_{cr}$ на примыкающем к стене участке дна протяженностью не менее $0,5\lambda$ (рисунок 6). Возвышение вершины максимальной прибойной волны $\eta_{c,sur}$, м, над расчетным уровнем следует определять по формуле

$$\eta_{c,sur} = 0,5d_f + h_{sur}, \quad (10)$$

где h_{sur} – высота прибойной волны, м;

d_{cr} – критическая глубина, м.

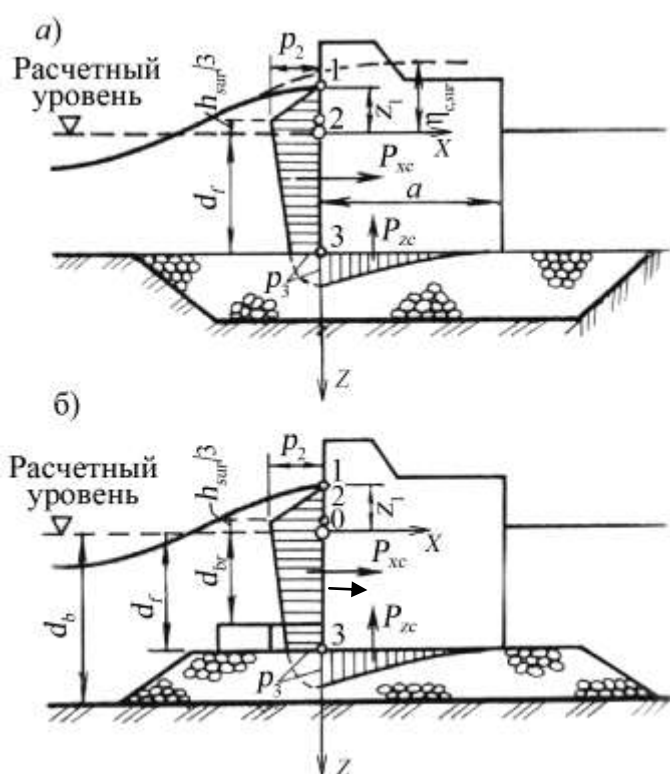
Горизонтальную нагрузку P_{xc} , кН/м, от прибойных волн необходимо принимать по эпюре бокового волнового давления, при этом значение p , кПа, для ординат z , м, допускается определять по формулам:

$$z_1 = -h_{sur} \quad p_1 = 0; \quad (11)$$

$$z_2 = -\frac{1}{3}h_{sur} \quad p_2 = 1,5\rho gh_{sur}; \quad (12)$$

$$z_3 = d_f \quad p_3 = \frac{\rho gh_{sur}}{\text{ch} \frac{2\pi}{\lambda_{sur}} d_f}. \quad (13)$$

где λ_{sur} – средняя длина прибойной волны, м.



a – с верхом постели на уровне дна; *б* – с возвышающейся над дном постелью

Рисунок 6 – Эпюры давления прибойных волн на вертикальную стену

Вертикальную нагрузку P_{zc} , кН/м, от прибойных волн следует принимать равной площади эпюры взвешивающего волнового давления и определять по формуле

$$P_{zc} = 0,7 \left(\frac{p_3 a}{2} \right). \quad (14)$$

Максимальная придонная скорость у основания вертикальной стены со стороны открытой акватории при действии прибойной волны $V_{b,max}$, м/с, должна определяться по формуле

$$V_{b,max} = \sqrt{\frac{gh_{sur}}{\operatorname{ch} \frac{2\pi}{\lambda_{sur}} d_f}}. \quad (15)$$

Нагрузки и воздействия волн на сооружения откосного профиля

5.21 При определении высоты наката волн на откос h_{run} (рисунок 7) должны учитываться следующие факторы:

- высота и длина расчетных волн;
- шероховатость поверхности откоса;
- фильтрационные свойства материала, образующего откос;
- направление и скорость ветра;
- глубина воды в акватории перед сооружением;
- угол подхода фронта волны к линии уреза воды на откосе.

Определение высоты наката волн на откос следует производить по результатам экспериментальных исследований и/или гидродинамических расчетов, а при их отсутствии методами, приведенными в приложении Д.

Деформируемость за время расчетного шторма пляжных откосов следует оценивать по данным натурных наблюдений (в том числе, на аналогах) и гидравлического моделирования в сочетании с апробированными расчетными методами.

5.22 Волновое давление на защитное плитное крепление откоса должно определяться на основании результатов физического и/или математического моделирования, а при их отсутствии по зависимостям приложения Д.

5.23 При креплении откоса каменной наброской, обыкновенными и фасонными бетонными или железобетонными блоками расчетная масса отдельного элемента определяется по зависимостям приложения В.

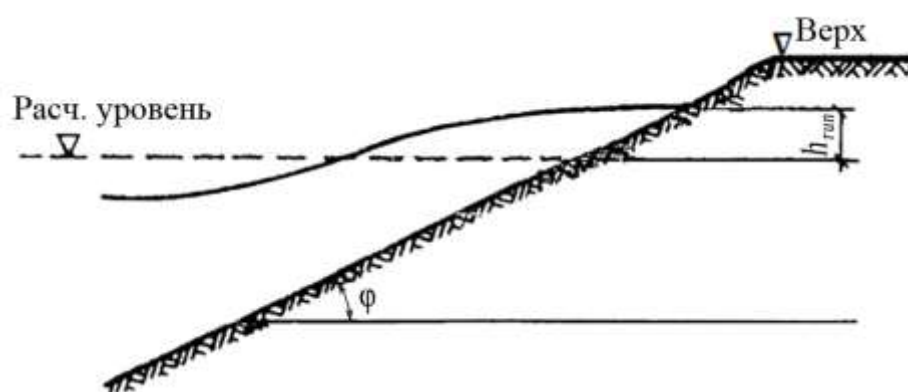


Рисунок 7 – Схема к определению высоты h_{run} наката волн на откос

Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения

5.24 Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения должны определяться на основе экспериментальных исследований и/или решения гидродинамической задачи обтекания преграды волновым потоком, а при их отсутствии по методу, приведенному в приложении Е, основанному на аналитическом решении в третьем приближении задачи о бегущих потенциальных волнах.

Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения должны определяться как сумма скоростного и инерционного компонентов, обусловленных соответственно локальными значениями скорости и ускорения волнового движения жидкости.

Динамический эффект от воздействия нерегулярных волн следует учитывать только в тех случаях, когда период собственных колебаний сооружения соизмерим со средним периодом набегающих волн.

5.25 Максимальную силу воздействия волн на вертикальную обтекаемую преграду (рисунок 8, а) следует определять из ряда значений, получаемых при различных удалениях $x = x/\lambda$ вершины волны от преграды.

5.26 Максимальные значения нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду, расположенную на некотором удалении от дна акватории или лежащую на дне (рисунок 8, б), должны определяться также при различных удалениях $x = \chi/\lambda$ вершины волны от преграды для двух случаев:

максимальной горизонтальной составляющей нагрузки $P_{x,\max}$ при соответствующем значении вертикальной составляющей нагрузки P_z ;

максимальной вертикальной составляющей нагрузки $P_{z,\max}$ при соответствующем значении горизонтальной составляющей нагрузки P_x .

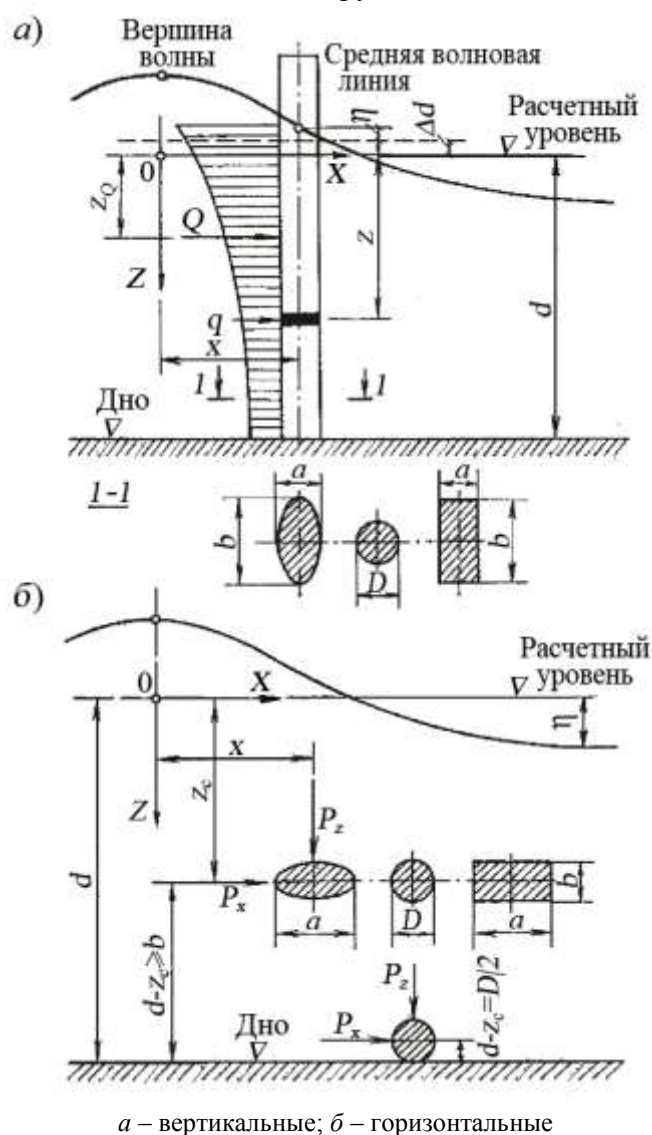


Рисунок 8 – Схемы к определению волновых нагрузок на обтекаемые преграды

5.27 Расчет сквозных сооружений или отдельно расположенных обтекаемых преград на нагрузки от волн должен производиться с учетом шероховатости их поверхности.

5.28 Максимальную придонную скорость $V_{b,\max}$, м/с, в точках, расположенных на контуре преграды ($\theta=90^\circ$ и 270°) и впереди преграды на расстоянии $0,25\lambda$ от контура преграды ($\theta=0^\circ$), следует определять по формуле

$$V_{b,\max} = 2\varphi_r \frac{\pi h}{T} \cdot \frac{1}{shkd}, \quad (16)$$

где коэффициент φ_r принимается по таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Положение расчетных точек	Значения коэффициента φ_r при D/λ		
	0,2	0,3	0,4
На контуре преграды	0,98	0,87	0,77
Впереди преграды	0,67	0,75	0,75

Нагрузки от ветровых волн на берегоукрепительные сооружения

5.29 Максимальные значения горизонтальной P_x , кН/м, и вертикальных P_z и P_c , кН/м, проекций равнодействующей нагрузки от волн на подводный волнолом необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давления (рисунок 9). При этом p , кПа, должно определяться в зависимости от z с учетом уклона дна i по формулам, приведенным в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Ордината z , м, эпюры давления	Формула для определения ординаты z , м	Формула для определения давления p , кПа	Условия применимости формулы
z_1 (верх подводного волнолома)		$p_1 = \rho g (z_1 - z_2)$ $p_1 = p_2$	$z_1 < z_2$ $z_1 \geq z_2$
z_2 (подошва волны)	$z_2 = 0,28d \left(\frac{h}{d} \right)^{0,72}$	$p_2 = \rho g h \left(0,015 \frac{\lambda}{d} + 0,23 \frac{d - z_1}{d} \right) - \rho g z_4$ $p_2 = \rho g (z_2 - z_4)$	$i \leq 0,04$ $i > 0,04$
z_3 (дно акватории перед волноломом)		$p_3 = k_w p_2$; $k_w = 0,7 + 0,003 \left(\frac{\lambda}{d} \right)^{1,3}$ $p_3 = p_2$	$i \leq 0,04$ $i > 0,04$
z_4 (поверхность воды за волноломом)	$z_4 = -k_{rd} (z_1 - z_5) + z_1$ $k_{rd} = 0,88 - 0,31 \frac{h}{d}$		
z_5 (гребень волны перед волноломом)	$z_5 = 0,37d \left(\frac{h}{d} \right)^{1,2}$		

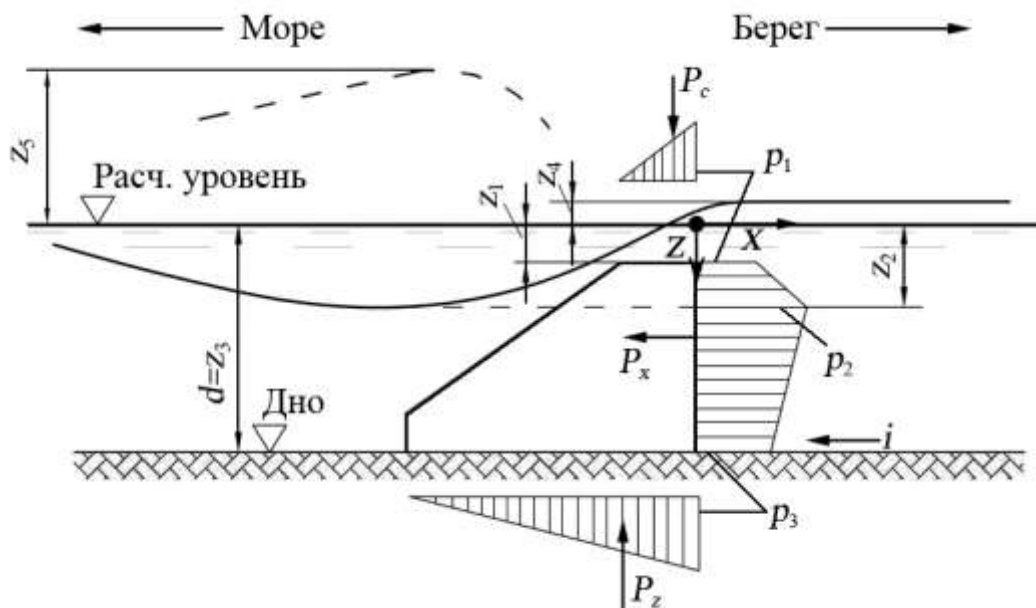


Рисунок 9 – Эпюры волнового давления на подводный волнолом

5.30 Максимальную придонную скорость $V_{b,max}$, м/с, перед берегоукрепительным сооружением в виде вертикальной или крутонаклонной стены следует определять по зависимости (2).

Для сооружения в виде подводного волнолома при определении $V_{b,max}$ по формуле (2) коэффициент k_{sl} должен быть принят при $\frac{\lambda}{d} > 20$ равным $k_{sl} = 0,18 \left(\frac{\lambda}{d} \right)^{0,6}$; при $\frac{\lambda}{d} \leq 20$ следует принимать $k_{sl} = 1,1$.

Максимальную придонную скорость воды $V_{b,max}$, м/с, перед берегоукрепительным сооружением при разбивающихся и прибойных волнах надлежит определять соответственно по формулам (9) и (15).

5.31 Максимальные значения горизонтальной P_x , кН/м, и вертикальных P_z и P_c , кН/м, проекций равнодействующей нагрузки от разбивающихся волн на вертикальную волнозащитную стену (при отсутствии засыпки грунта со стороны берега) необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давлений (рисунок 10). При этом значения p , кПа, и η_c , м, должны определяться в зависимости от места расположения сооружения:

а) при расположении сооружения в створе последнего обрушения прибойных волн (рисунок 10, а) по формулам:

$$p = p_u = \rho g h_{br} \left(0,033 \frac{\lambda}{d} + 0,75 \right); \quad (17)$$

$$\eta_c = - \frac{p_u}{\rho g}; \quad (18)$$

б) при расположении сооружения в приурезовой зоне (рисунок 10, б) по формулам:

$$p = p_i = \left(1 - 0,3 \frac{a_i}{a_n}\right) p_u; \quad (19)$$

$$\eta_c = -\frac{p_i}{\rho g}; \quad (20)$$

в) при расположении сооружения на берегу за линией уреза в пределах наката волн (рисунок 10, в) по формулам:

$$p = p_l = 0,7 \left(1 - \frac{a_l}{a_r}\right) p_u; \quad (21)$$

$$\eta_c = \frac{p_l}{\rho g}; \quad (22)$$

где η_c – превышение гребня волны над расчетным уровнем в створе волнозащитной стены, м;

h_{br} – высота разбивающихся волн в створе последнего обрушения перед сооружением, м;

d – глубина воды в створе последнего обрушения волн, м;

a_n – расстояние от створа последнего обрушения волн до линии уреза (приурезовая зона), м;

a_i – расстояние от створа последнего обрушения волн до сооружения, м;

a_l – расстояние от линии уреза воды до сооружения, м;

a_r – расстояние от линии уреза воды до условной границы наката на берег разбивающихся волн (при отсутствии сооружения), м, определяемое по формуле

$$a_r = h_{run1\%} \operatorname{ctg} \varphi; \quad (23)$$

$h_{run1\%}$ – высота наката волн на берег, м, определяемая по 5.21.

П р и м е ч а н и я

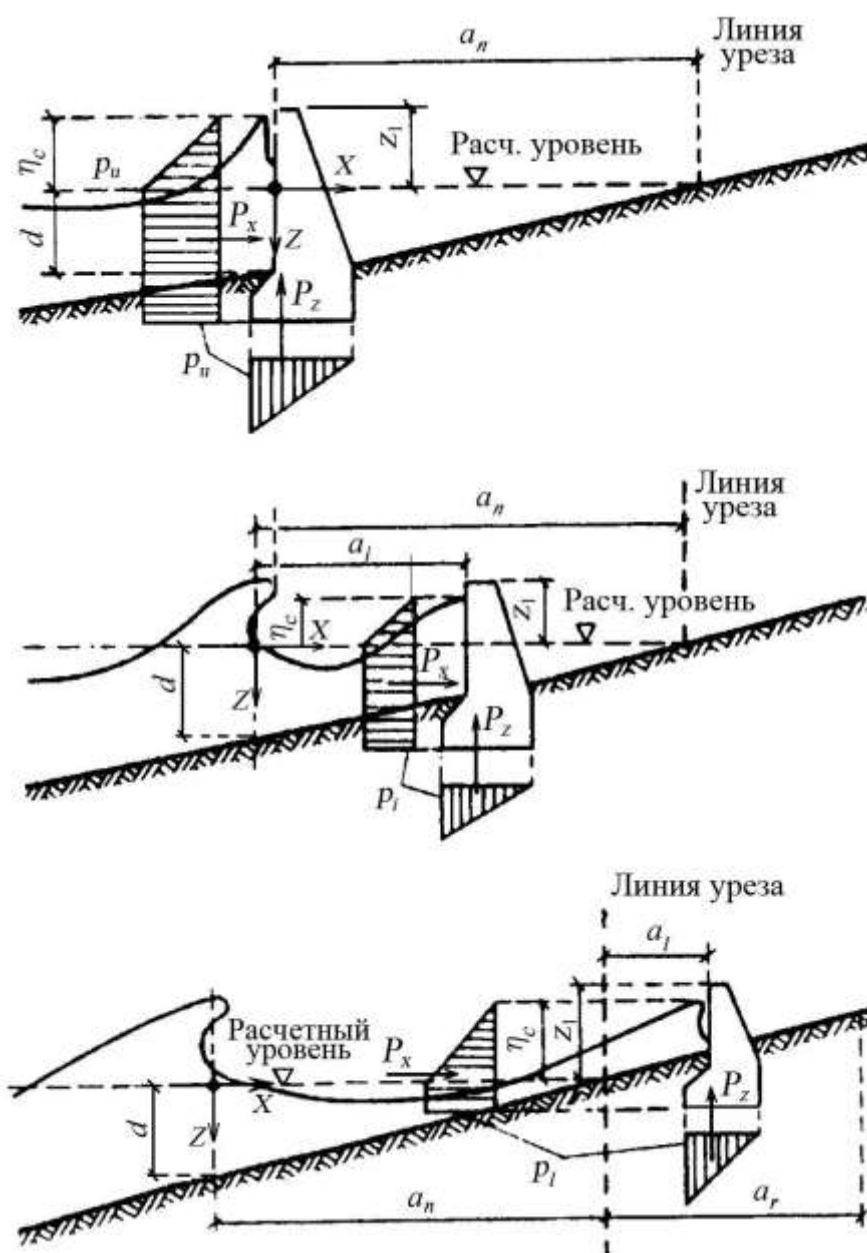
1 Если ордината верха сооружения $z_1 \geq -0,3h$, м, то значения волнового давления, определяемые по формулам (17), (18) и (21), необходимо умножать на коэффициент k_{zd} , принимаемый по таблице 5.

2 Нагрузки от прибойных волн на волнозащитные стены при расположении их в прибойной зоне следует определять согласно 5.20.

3 В формулах (19) и (21) давление p_u вычисляется по формуле (17).

Т а б л и ц а 5

Ордината верха сооружения z_1 , м	$-0,3h$	0,0	$+0,3h$	$+0,65h$
Коэффициент k_{zd}	0,95	0,85	0,8	0,5



a – зона прибойной волны; *б* – приурезовая зона; *в* – за линией уреза

Рисунок 10 – Эпюры волнового давления на вертикальную волнозащитную стену при расположении сооружения

5.32 Максимальные значения горизонтальной P_x , кН/м, и вертикальной P_z , кН/м, проекций равнодействующей линейной нагрузки от разрушившихся волн на вертикальную волнозащитную стену (с засыпкой грунта со стороны берега) при откате волны необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давлений (рисунок 11). При этом значение p_r , кПа, должно определяться по формуле

$$p_r = \rho g (\Delta z_r - 0,75 h_{br}), \quad (24)$$

где Δz_r – понижение поверхности воды от расчетного уровня перед вертикальной стеной при откате волны, м, принимаемое в зависимости от расстояния a_l от линии уреза воды до сооружения равным: при $a_l \geq 3h_{br}$ $\Delta z_r = 0$ и при $a_l < 3h_{br}$ $\Delta z_r = 0,25 h_{br}$.

5.33 Волновое давление p , кПа, на криволинейный участок стены необходимо принимать по эпюре волнового давления на вертикальную стену согласно 5.33 с ориентированием этой эпюры по нормали к криволинейной поверхности (рисунок 12).

5.34 Максимальные значения горизонтальных $P_{x,ext}$, $P_{x,int}$, кН, и вертикальной P_z , кН, проекций равнодействующей нагрузки от волн на элемент буны длиной l необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давления (рисунок 13). При этом значения волнового давления на внешнюю p_{ext} , кПа, и теневую p_{int} , кПа, грани буны и соответствующие возвышения гребня волны η_{ext} , м, и η_{int} , м, должны определяться по формулам:

$$p_{ext(int)} = \frac{3}{4} k_\alpha \rho g h (1 + \cos^2 \alpha), \quad (25)$$

$$\eta_{ext} = \frac{p_{ext}}{\rho g}, \quad \eta_{int} = \frac{p_{int}}{\rho g}, \quad (26)$$

где k_α – коэффициент, принимаемый по таблице 6, в зависимости от угла α подхода фронта волны к буне.

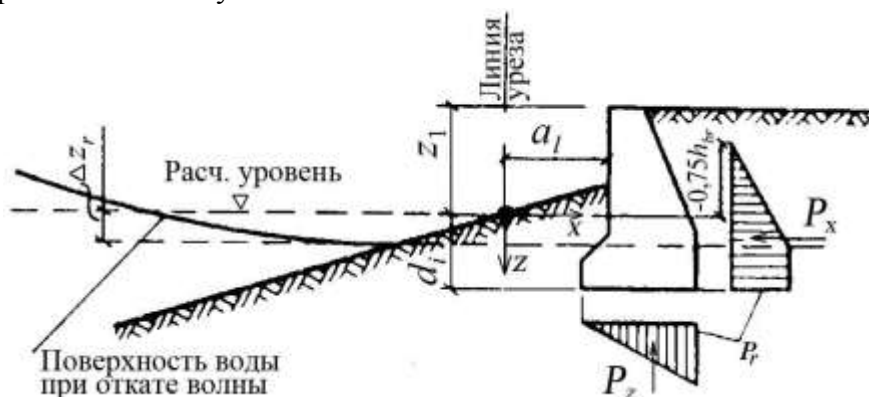


Рисунок 11 – Эпюры волнового давления на вертикальную волнозащитную стену при откате волны

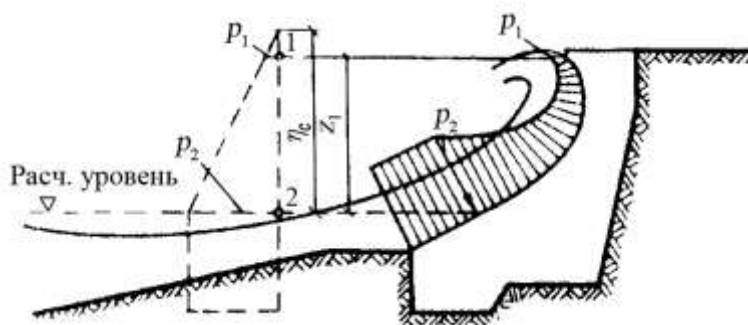


Рисунок 12 – Эпюра давления волн на криволинейный участок волнозащитной стены

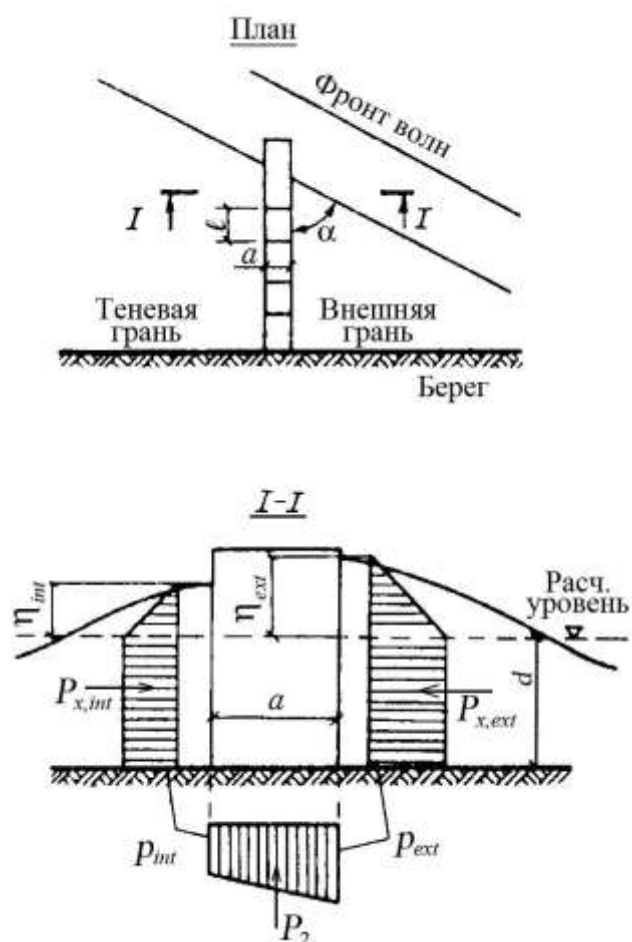


Рисунок 13 – Эпюры волнового давления на буну

Т а б л и ц а 6

Грань буны	ctga	Коэффициент k_a при значении $l/\bar{\lambda}$			
		0,03 и менее	0,05	0,1	0,2 и более
Внешняя (int)	–	1	0,75	0,65	0,6
Теневая (ext)	0	1	0,75	0,65	0,6
	0,2	0,45	0,45	0,45	0,45
	0,5	0,18	0,22	0,3	0,35
	1	0	0	0	0

5.35 Волновые нагрузки на волногасящие сооружения с волновой камерой следует определять в соответствии с СП 32-103-97.

Воздействие судовых волн на крепления берегов каналов

5.36 Значения высоты h_{sh} , м, и длины λ_{sh} , м, волн, возникающих при движении водоизмещающих судов, следует определять по формулам:

$$h_{sh} = \frac{2V^2}{g} \sqrt{\frac{\delta d_s}{l_u}}, \quad (27)$$

$$\lambda_{sh} = 5,65 \frac{V^2}{g}, \quad (28)$$

где d_s и l_u – осадка и длина судна, м;

V – скорость судна, м/с;

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна.

П р и м е ч а н и е – При определении параметров волны, возникающей при движении водоизмещающих судов в водотоках (реках, каналах), следует учитывать, что скорость судна V , м/с, не должна превышать допускаемое значение V_{adm} , м/с, определенное нормативными актами для рассматриваемого водного пути. При отсутствии нормативных данных V_{adm} определяется по формуле

$$V_{adm} = 0,9 \sqrt{\left[6 \cos \frac{\pi + \arccos(1 - k_a)}{3} - 2(1 - k_a) \right] g \frac{A}{b}}, \quad (29)$$

где k_a – отношение подводной площади поперечного сечения судна к площади живого сечения канала A , м²;

b – ширина канала, м, по урезу воды.

При двухстороннем движении однотипных судов численное значение k_a в формуле (29) следует увеличивать в 2 раза.

5.37 Высоту наката h_{rsh} , м, судовой волны на откос (рисунок 14) следует определять по формуле ($V \leq V_{adm}$):

$$h_{rsh} = \beta_{sl} \frac{0,5h_{sh} + 0,05 \operatorname{ctg} \varphi \frac{V^2}{g}}{1 - 0,05 \operatorname{ctg} \varphi}, \quad (30)$$

где β_{sl} – коэффициент, принимаемый для откосов, облицованных сплошными плитами, равным 1,4, каменным мощением – 1,0 и каменной наброской – 0,8.

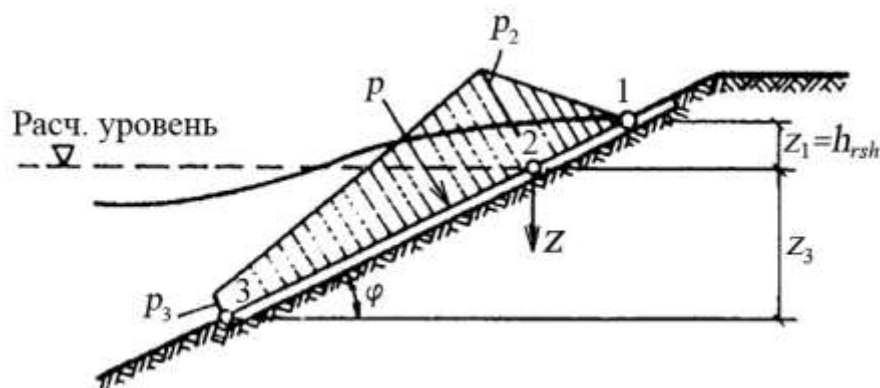


Рисунок 14 – Эпюра давления судовых волн на крепления берегов каналов при накате волны на откос

5.38 Максимальное значение нагрузки от судовой волны на крепления берегов каналов P , кН/м, должно приниматься по эпюрам волнового давления, при построении которых используются формулы, приведенные в приложении Ж.

6 Нагрузки от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения

6.1 При расчете гидротехнических сооружений на нагрузки от судов (плавучих объектов) необходимо определять:

- нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты;
- нагрузки от навала пришвартованного судна на причальное сооружение при действии ветра, течения и волн;
- нагрузки от навала судна при его подходе к портовому причальному сооружению;
- нагрузки от натяжения швартовов при действии на судно ветра, течения и волн.

Расчетные повторяемости внешних воздействий на акватории порта должны приниматься в зависимости от продолжительности стоянки судов и обусловленного ими типа швартовной системы (таблица 7).

6.2 При расчете гидротехнических сооружений на действие нагрузок, передающихся от плавучих объектов на палы, корневые части причалов и анкерные опоры (для принятого количества, калибра и длины связей, значения натяжения связей в первоначальном состоянии, массы подвесных грузов и места их закрепления), необходимо определять:

- горизонтальные и вертикальные нагрузки на сооружения и анкерные опоры;
- наибольшие усилия в связях;
- перемещения плавучих объектов.

П р и м е ч а н и е – На морях с приливами и отливами определение усилий в элементах раскрепления следует производить при самом высоком и самом низком уровнях воды.

6.3 Нагрузки на анкерные опоры, усилия в связях и перемещения плавучих объектов необходимо определять с учетом динамики действия волн, при этом соотношения периодов свободных и вынужденных колебаний плавучих объектов должны приниматься из условия недопущения резонансных явлений.

Нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты

6.4 Расчетные значения поперечной Q_w , кН, и продольной N_w , кН, горизонтальных составляющих силы воздействия ветра на плавучие объекты следует определять по формулам:

для судов и плавучих причалов с ошвартованными судами

$$Q_w = 73,6 \cdot 10^{-5} A_n V_n^2 \xi, \quad (31)$$

$$N_w = 49,0 \cdot 10^{-5} A_l V_l^2 \xi, \quad (32)$$

для плавучих доков

$$Q_w = 79,5 \cdot 10^{-5} A_n V_n^2, \quad (33)$$

$$N_w = 79,5 \cdot 10^{-5} A_l V_l^2, \quad (34)$$

где A_n и A_l – соответственно боковая и лобовая надводные площади парусности (силуэтов) плавучих объектов, m^2 ;

Таблица 7

Тип	Группа	Условия эксплуатации швартовно-отбойных систем	Наименование внешних воздействий		
			Ветер	Течение	Волнение
Длительно эксплуатируемые швартовно-отбойные системы стационарных и плавучих причалов морских портов	1	Проведение различных технологических операций по обслуживанию (снабжению) судна у погрузочных, топливных причалов и т.п. Стоянка допускается только в благоприятных погодных условиях. При прогнозе ухудшения погоды судно отходит от причала.	Исходя из технических возможностей конкретного судна и причала, но не менее 1 раза в год		
	2	Стоянка судна в штормовых условиях у специализированных (погрузочных, топливных и т.п.) и стояночных причалов.	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*
	3	Разовая непрерывная стоянка судна у причала до 3-х месяцев без возможности отвода от причала.	1 раз в 10 лет	1 раз в 10 лет	1 раз в 10 лет
	4	Многократные стоянки судов у причалов, судостроительных и судоремонтных заводов и т.п. до 3-х месяцев, либо непрерывная стоянка у причала до 1-2 лет без возможности отвода от причала.	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*
	5	Непрерывная стоянка плавучего объекта более 2-х лет без возможности отвода с места стоянки (корабли-музеи, плавучие теплоэлектростанции, в том числе атомные, плавучие доки и т.п.).	1 раз в 100 лет*	1 раз в 100 лет*	1 раз в 100 лет*

Окончание таблицы 7

Тип	Группа	Условия эксплуатации швартовно-отбойных систем	Наименование внешних воздействий		
			Ветер	Течение	Волнение
Кратковременно эксплуатируемые швартовно-отбойные системы при проведении морских операций	6	Проведение морских операций, ограниченных по погодным условиям: длительностью до 3-х суток; длительностью более 3-х суток при обеспечении возможности их прерывания и отвода судов и плавучих объектов в защищенное место.	Исходя из технических возможностей судов, плавучих объектов и оборудования, используемых при проведении морской операции, но не менее 1 раза в год		
	7	Проведение морских операций, неограниченных по погодным условиям, при длительности операции до 1 месяца без возможности прерывания операции и отвода судов в защищенное место.	1 раз в 5-10 лет**	1 раз в 5-10 лет**	1 раз в 5-10 лет**
	8	Проведение морских операций, неограниченных по погодным условиям при длительности операций свыше 1 мес.	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*
* При соответствующем обосновании расчетная повторяемость внешних воздействий принимается в соответствии с расчетным периодом повторяемости для причального сооружения заданного класса. ** Меньшее значение повторяемости внешних воздействий (1 раз в 5 лет) принимается при проведении морской операции на открытых акваториях на удалении от других объектов, а большее (1 раз в 10 лет) – при проведении морской операции поблизости от других сооружений.					

V_n и V_l – соответственно поперечная и продольная составляющие скорости ветра м/с, в порывах с осреднением 1 мин, повторяемость которых принимается в соответствии с таблицей 7;

ξ – коэффициент, зависящий от наибольшего горизонтального размера, поперечного или продольного силуэтов надводной части плавучего объекта; принимается по таблице 8; при длительной стоянке судов у причала (группы 3 – 5 таблицы 7) коэффициент $\xi=1$;

П р и м е ч а н и я 1. При определении ветрового воздействия на пришвартованное судно (плавучий объект) пульсации ветра необходимо рассматривать такое сочетание скорости и направлений ветра, отклоняющихся до $\pm 30^\circ$ от оси судна или нормали к ней, которое обуславливает наибольшее значение нагрузки Q_w или N_w .

2. Площади парусности следует определять с учетом площадей экранирующих преград, расположенных с наветренной стороны (приложение И).

Т а б л и ц а 8

Наибольший горизонтальный размер силуэта плавучего объекта, м	До 25	50	100	200 и более
Коэффициент ξ	1	0,8	0,65	0,5

6.5 Расчетные значения поперечной Q_c , кН, и продольной N_c , кН, горизонтальных составляющих силы от воздействия течения на плавучие объекты следует определять по формулам:

$$Q_c = C_n \frac{\rho}{2} A_n V_n^2, \quad (35)$$

$$N_c = C_l \frac{\rho}{2} A_l V_l^2, \quad (36)$$

где A_l и A_n – соответственно боковая и лобовая подводные площади парусности плавучих объектов, m^2 ;

C_l , C_n – обобщающие коэффициенты продольной и поперечной силы воздействия течения, определяемые с учетом соотношения осадки плавучего объекта и глубины воды (приложение К).

V_n и V_l – поперечная и продольная составляющие скорости течения, м/с, принимаемые в соответствии с таблицей 7.

6.6 Расчетные значения поперечной Q , кН, и продольной N , кН, горизонтальных сил от воздействия волн на плавучие объекты следует определять по формулам:

$$Q_e = \alpha \zeta \rho g h A_n, \quad (37)$$

$$N_e = \alpha \rho g h A_l, \quad (38)$$

где α – коэффициент, зависящий от осадки d_s , м, плавучего объекта; принимается по графику на рисунке 15;

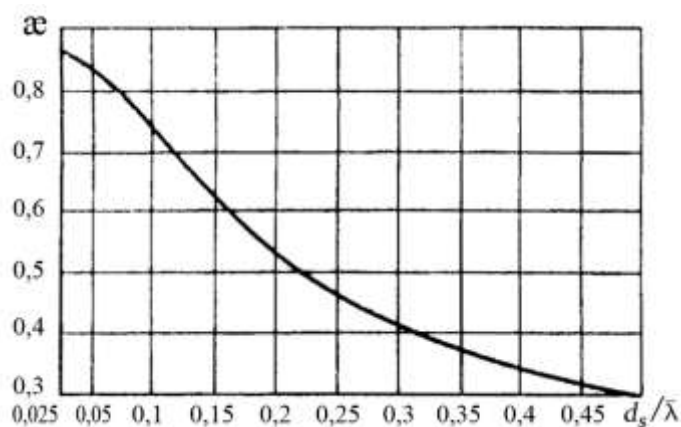
ζ – коэффициент, принимаемый по таблице 9, в которой a_l – наибольший горизонтальный размер продольного силуэта подводной части плавучего объекта, м;

h – высота волны обеспеченностью 5 % в системе;

A_n и A_l – обозначения те же, что и в 6.3.

Т а б л и ц а 9

a_l / λ	0,5 и менее	1	2	3	4 и более
Коэффициент ζ	1	0,73	0,5	0,42	0,4

Рисунок 15 – График значений коэффициента α

Нагрузки от навала пришвартованного судна на сооружение

6.7 Нагрузку от навала пришвартованного судна на сооружение q , кН/м, под действием ветра, течения и волн следует определять по формуле

$$q = 1,1 \frac{Q_{tot}}{l_d}, \quad (39)$$

где Q_{tot} – поперечная сила от суммарного воздействия ветра, течения и волн, кН, определяемая согласно 6.4 – 6.6:

$Q_{tot} = Q_w + Q_c$ - в случае, если высота волн 5 % не превышает допускаемые при стоянке значения по таблице 10;

$Q_{tot} = Q_w + Q_c + Q_e^*$ в случае, если высота волн 5% превышает допускаемые при стоянке значения по таблице 10;

Q_e^* – волновая составляющая нагрузки на причальные сооружения от пришвартованного судна, учитывающая динамический характер волнового воздействия и определяемая по приложению Л

l_d – общая длина участков контакта судна с сооружением, м:

П р и м е ч а н и е – Для причального фронта, образованного несколькими опорами или палами, распределение нагрузки от пришвартованного судна следует принимать только на те из них, которые располагаются в пределах прямолинейной части борта судна.

Т а б л и ц а 10

Угол подхода фронта волн к диаметральной плоскости судна α , град	Высоты волн h_5 %, м, допускаемые при стоянке судна с расчетным водоизмещением W , тыс. т						
	до 2	5	10	20	40	100	200 и более
До 45	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2	1,5	1,8
90	0,9	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3,2

Нагрузки от навала судна при подходе к сооружению

6.8 Кинетическую энергию навала судна E_n , кДж, при подходе его к портовому причальному сооружению следует определять по формуле

$$E_n = \psi \frac{W V_n^2}{2}, \quad (40)$$

где W – расчетное водоизмещение (масса) судна, т;

V_n – нормальная (к поверхности сооружения) составляющая скорости подхода судна, м/с;

ψ – коэффициент, учитывающий условия швартовки и конструкцию причальных сооружений.

Допускаемые значения нормальной составляющей скорости подхода V_n и коэффициента ψ следует назначать с использованием справочных данных приложения М.

6.9 Поперечную горизонтальную силу F_n , кН, от навала судна при подходе к сооружению следует определять для заданного значения энергии навала судна E_n , кДж, по графикам рисунка 16, следуя по направлению штриховой линии со стрелками.

Суммарная энергия деформации E_{tot} , кДж, должна включать энергию деформации отбойных устройств E_c , кДж, и энергию деформации причального сооружения E_i , кДж; при $E_c \geq 10E_i$ величина E_i не учитывается.

Энергию деформации причального сооружения E_i , кДж, следует определять по формуле

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_n^2}{k_i}, \quad (41)$$

где k_i – коэффициент жесткости причального сооружения в горизонтальном поперечном направлении, кН/м.

Продольная сила F_l , кН, от навала судна при подходе к сооружению должна определяться по формуле

$$F_l = \mu F_n, \quad (42)$$

где μ – коэффициент трения, принимаемый в зависимости от материала лицевой поверхности отбойного устройства: при поверхности из бетона или резины $\mu=0,5$; при деревянной поверхности $\mu=0,4$; при полиэтиленовых брусках $\mu=0,1-0,15$.

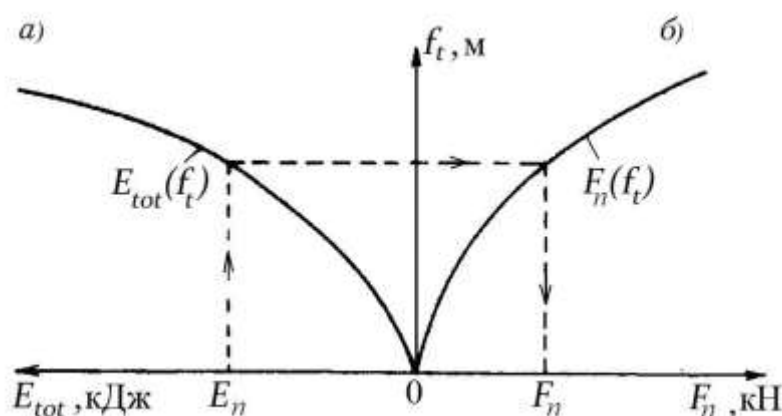
6.10 При ограничении допускаемой силы F_n на причальное сооружение максимальное допускаемое значение нормальной к поверхности сооружения составляющей скорости подхода судна V_{adm} , м/с, следует определять по формуле

$$V_{adm} = \sqrt{\frac{2E_{tot}}{\psi W}}, \quad (43)$$

где E_{tot} – энергия навала, кДж, принимаемая по графикам рисунка 16 при заданном значении допускаемой силы F_n на причальное сооружение (или на борт судна);

W и ψ – обозначения те же, что и в 6.8.

Следует учитывать, что ограничение скорости подхода к сооружению может быть обусловлено размывающим воздействием на донные отложения и/или крепление дна акватории вблизи сооружения, оказываемым потоком, возникающим за счет работы двигателей судна.



a – от энергии E_{tot} ; *б* – от нагрузки F_q

Рисунок 16 – Схема использования зависимостей деформаций отбойного устройства (и причального сооружения) f_t от энергии E_{tot} (а) и от нагрузки F_n (б)

Нагрузки на сооружения от натяжения швартовов

6.11 Нагрузки от натяжения швартовов должны определяться с учетом распределения на швартовые тумбы (или рымы) поперечной составляющей суммарной силы Q_{tot} , кН, от действия на одно расчетное судно ветра и течения. Значения Q_{tot} , кН, принимаются согласно 6.4, 6.5.

Воспринимаемую одной тумбой (или рымом) силу S , кН, на уровне козырька (рисунок 17) от всех судов, швартовы которых заведены за тумбу, а также ее поперечную S_n , кН, продольную S_l , кН, и вертикальную S_z , кН, проекции следует определять по формулам:

$$S = \frac{Q_{tot}}{n \sin \alpha \cos \beta}, \quad (44)$$

$$S_n = \frac{Q_{tot}}{n}, \quad (45)$$

$$S_l = S \cos \alpha \cos \beta, \quad (46)$$

$$S_z = S \sin \beta, \quad (47)$$

где n – число работающих тумб, принимаемое по таблице 11;

α , β – углы наклона швартова, град, принимаемые по таблице 12.

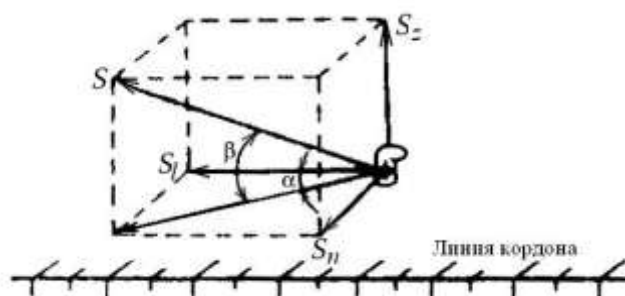


Рисунок 17 – Схема распределения усилия на тумбу от натяжения швартовов

Т а б л и ц а 11

Наибольшая длина судна $l_{\max}$, м	50 и менее	150	250	300 и более
Наибольшее расстояние между тумбами l_s , м	20	25	30	30
Число работающих тумб n	2	4	6	8

Т а б л и ц а 12

Суда	Положения тумб на причальном сооружении	Углы наклона швартова, град		
		α	β	
			судно в грузу	судно порожнее
Морские	На кордоне	30	20	40
	В тылу	40	10	20
Речные пассажирские и грузопассажирские	На кордоне	45	0	0
Речные грузовые	То же	30	0	0
П р и м е ч а н и е – При расположении швартовых тумб на отдельно стоящих фундаментах значение угла β следует принимать равным 30°.				

Нормативные значения силы натяжения швартова S , кН, для судов речного флота должны приниматься по таблице 13.

Т а б л и ц а 13

Расчетное водоизмещение судна W , тыс. т	Нормативная сила натяжения швартова S , кН, для судов	
	пассажирских, грузопассажирских, технического флота со сплошной надстройкой	грузовых и технического флота без сплошной надстройки
0,1 и менее	50	30
0,11 – 0,5	100	50
0,51 – 1	145	100
1,1 – 2	195	125
2,1 – 3	245	145
3,1 – 5	–	195
5,1 – 10	–	245
Более 10	–	295

Силу, передаваемую на каждую концевую тумбу носовыми или кормовыми продольными швартовами, для морских судов с расчетным водоизмещением более 50 тыс. т следует принимать равной продольной составляющей суммарной силы N_{tot} , кН, от действия ветра и течения на пришвартованное судно, определенной согласно требованиям 6.2 – 6.3.

П р и м е ч а н и е – Более точное определение усилий в швартовых с учетом конкретной схемы швартовки судна выполняется по формулам приложения Н.

6.12 Для причалов, состоящих из технологической площадки и отдельно стоящих палов, нагрузки на палы от воздействий ветра и течения, определенные согласно 6.2 и 6.3, должны приниматься следующим образом:

- а) для носовых и кормовых продольных и прижимных канатов – по $0,8 Q_{tot}$, кН;
- б) для шпрингов – по $0,6 Q_{tot}$, кН.

Если каждая группа швартовов заводится на несколько палов, то распределение усилий между ними принимается равномерным. Значения углов α и β (см. рисунок 17) и число работающих тумб следует устанавливать по расположению швартовых палов.

П р и м е ч а н и е – Для сквозных причальных сооружений I и II классов, расположенных на незащищенных от волнения акваториях, следует учитывать волновую составляющую швартовой нагрузки на причал, определяемую на основе апробированных на практике динамических методов расчетов качки пришвартованного судна на волнении или на основе модельных испытаний. Для предварительных оценок используется методика приведенная в приложении Л.

7 Ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения

Основные положения

7.1 Нагрузки ото льда на гидротехнические сооружения должны определяться на основе исходных данных по ледовой обстановке в районе сооружений для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями.

7.2 По видам воздействия льда на гидротехнические сооружения следует различать:

- нагрузки на сооружения от полей ровного льда, включая сценарии подхода дрейфующего поля льда к сооружению (или ледохода) и подвижка поля ровного льда при вмержании в него сооружения;
- локальное давление ледовых образований;
- нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении;
- нагрузки от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды;
- нагрузки на сооружения от заторных и зажорных масс льда;
- нагрузки от движущегося тороса;
- нагрузки от движущегося айсберга.

7.3 В число исходных данных по ледовой обстановке для расчёта ледовых нагрузок входят:

- толщина льда;
- прочностные характеристики льда;
- характеристики геометрических размеров и форм рельефа ледяного покрова;
- перепады температур, необходимые при расчёте нагрузки от температурного расширения;
- максимальная и минимальная скорости подхода льда к сооружению;

- температура воздуха, необходимая для расчёта прочности льда;
- скорость ветра и пр.

7.4 Прочностные характеристики ледяного покрова: пределы прочности льда при сжатии R_c и изгибе R_f , МПа, следует вычислять по формулам:

$$R_c = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_i + \Delta_i)^2}, \quad (48)$$

$$R_f = 0,4 \cdot (C_b + \Delta_b), \quad (49)$$

где N – количество слоёв одинаковой толщины, на которое разбивается (по толщине) рассматриваемое ледяное поле, при этом $N \geq 3$;

C_i – прочность льда на одноосное сжатие, МПа, в i -м слое при температуре t_i ;

Δ_i – доверительная граница случайной погрешности определений C_i , МПа, определяемая методами математической статистики;

C_b и Δ_b – прочность льда на одноосное сжатие, МПа, в нижнем слое рассматриваемого ледяного поля при температуре t_b и доверительная граница случайной погрешности определений C_b , МПа, определяемые так же, как C_i и Δ_i ;

t_b – температура льда на границе лёд-вода (температура замерзания), равная для пресной воды 0°C , а для солёной воды определяемая по формуле $t_b = -0,057 \cdot s_w$, где s_w – солёность воды, ‰.

7.5 Нормативное значение C_i определяется с учётом температуры в i -м слое как среднее арифметическое значение прочности льда в соответствии с методикой испытания льда на одноосное сжатие согласно приложению П.

Распределение температуры по толщине льда и определение ее значения в i -м слое принимается по натурным данным или при их отсутствии на основе решения задачи теплопроводности при стационарном режиме.

Для решения задачи теплопроводности температуру наружного воздуха на границе лёд-атмосфера, которая является определяющей прочностные характеристики льда параметром, следует принимать по данным метеорологических наблюдений на ближайшей метеостанции.

В зависимости от класса сооружений в качестве температуры наружного воздуха принимается:

- для толщины льда менее 1,5 м – обеспеченное значение средней температуры воздуха *за декаду*, предшествующую ледовому воздействию (для гидротехнических сооружений I и II классов обеспеченность среднедекадной температуры составляет 0,1 %, для гидротехнических сооружений III и IV классов – 1,0 %);

- для толщины льда более 1,5 м – обеспеченное значение средней температуры воздуха *за месяц*, предшествующий ледовому воздействию (для гидротехнических сооружений I и II классов обеспеченность среднедекадной температуры составляет 0,1 %, для гидротехнических сооружений III и IV классов – 1,0 %).

При отсутствии опытных данных значение C_i принимается по таблицам 14 и 15 для пресного и солёного льда, соответственно. При этом, при солёности льда от 3 ‰ и менее лёд считается условно пресным.

Таблица 14

Тип кристаллической структуры пресноводного льда	Доверительная вероятность, α	Температура льда в i -м слое ледяного поля t_i , °C			
		0	-3	-15	-30
		Значения $C_i \pm \Delta_i$, МПа			
Зернистый (снежный)		1,2	3,1	4,8	5,8
	0,95	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$
	0,99	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$
Призматический (столбчатый)		1,5	3,5	5,3	6,5
	0,95	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$
	0,99	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$
Волокнистый (шестовато-игольчатый)		0,8	2,0	3,2	3,8
	0,95	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$
	0,99	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$

Таблица 15

Тип кристаллической структуры морского льда	Солёность льда, г/кг	Доверительная вероятность, α	Температура льда в i -м слое ледяного поля t_i , °C		
			-3	-15	-30
			Значения $C_i \pm \Delta_i$, МПа		
Зернистый	3		1,5	6,2	6,5
		0,95	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,3$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
	4		1,3	6,1	6,4
		0,95	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,3$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
	5		1,1	6,0	6,3
		0,95	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,3$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
	6		1,0	5,9	6,2
		0,95	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,3$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
Волокнистый	3		0,6	5,9	6,0
		0,95	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,1$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
	4		0,5	5,8	5,9
		0,95	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,1$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
	5		0,4	5,6	5,8
		0,95	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,1$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
	6		0,3	5,5	5,6
		0,95	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
		0,99	$\pm 0,1$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$

Значение доверительной вероятности α величин R_c и R_f при расчётах ледовых нагрузок принимается равным 0,99 для сооружений I класса и 0,95 – для сооружений II и III классов.

7.6 При рассмотрении прочности льда в условиях первой подвижки речного ледяного покрова значения R_c и R_f , определённые по формулам (48) и (49), следует уменьшать путём умножения их на коэффициент, принимаемый:

- для рек бассейна Среднего и Верхнего Амура и юга Забайкалья – 0,45;
- для рек бассейна Нижнего Амура, Средней Лены, Енисея до Енисейска, Оби до Октябрьского и севера европейской части России – 0,5;
- для рек бассейна Верхнего Днепра, Верхней Волги, Камы и Тобола, низовья Дона, Волги, Урала и Оби, междуречья Оби и Енисея, Верхней Лены, Алдана и крайнего северо-востока России – 0,64;
- для нижних течений Енисея и Лены и рек их междуречья, рек бассейна Алтая, а также для рек центра, северо-запада и юго-востока Европейской части России – 0,83.

7.7 Строение ледяного поля (речного и морского) определяется по данным кристаллографического исследования; при их отсутствии следует принимать, что:

- ледяной покров открытых озёр, водохранилищ и крупных рек состоит из зернистого и призматического льдов;
- ледяной покров морей и устьевых участков рек, впадающих в моря, состоит из зернистого и волокнистого льдов.

Толщина слоя зернистого льда, располагающегося в верхней части ледяного покрова, относится к толщине слоя призматического или волокнистого льда как 1:3.

Нагрузки на сооружения от полей ровного льда

7.8 Нагрузку от воздействия движущихся ледяных полей на сооружения с вертикальной передней гранью необходимо определять: на отдельно стоящую опору (рисунок 18) с передней гранью в виде треугольника, многогранника или цилиндрического очертания $F_{c,p}$, МН, по формуле:

$$F_{c,p} = 1,26 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{m A k_b k_v R_c \rho \gamma}, \quad (50)$$

на протяжённое сооружение (рисунок 19) $F_{c,w}$, МН, по формуле

$$F_{c,w} = 2,2 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{A k_v \rho R_c}, \quad (51)$$

где V – скорость движения ледяного поля, м/с;

h_d – обеспеченная толщина ровного льда, м. Назначается путём статистической обработки материалов натурных наблюдений для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями в зависимости от класса гидротехнического сооружения по таблице 16;

m – коэффициент формы воспринимающей нагрузку передней грани опоры в плане, принимаемый по таблице 17;

A – максимальная площадь ледяного поля (или суммарная площадь нескольких ледяных полей, оказывающих давление друг на друга), м², которая может воздействовать на рассчитываемый элемент сооружения, определяемая по натурным наблюдениям или принимаемая в зависимости от поперечных размеров пролёта сооружения как $A = 3l^2$ (где l – пролёт сооружения);

Таблица 16

Класс гидротехнического сооружения	I, II	III, IV
Ежегодная вероятность превышения (обеспеченность) толщины ровного льда P , %	0,1	1,0

k_b – коэффициент, принимаемый по таблице 18;

k_v – коэффициент, принимаемый по таблице 19;

γ – половина угла заострения передней грани опоры в плане на уровне действия льда, град; для опоры в виде многогранника или полуциркульного очертания необходимо принимать $\gamma = 70^\circ$;

R_c – обозначение то же, что и в 7.4;

ρ – плотность воды, кг/м³.

При отсутствии материалов натурных наблюдений за толщиной ровного льда в качестве исходных данных принимаются значения толщины ровного льда соответствующей вероятности превышения в соответствии с таблицей 16, полученные расчётом по гидрометеорологическим условиям местности.

При отсутствии данных натурных наблюдений за скоростью движения ледяного поля для водохранилищ и морей следует принимать скорость движения ледяного поля равной 3 % от значения 1 %-ной среднемесячной скорости ветра в месяц ледового воздействия (без учёта направления).

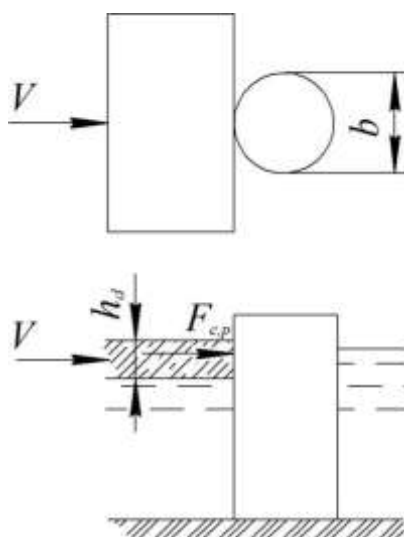


Рисунок 18 – Схема приложения нагрузки от движущегося ледяного поля на отдельно стоящую вертикальную опору

Таблица 17

Коэффициент формы передней грани опоры в плане	Для опоры с передней гранью в виде						
	треугольника с углом заострения в плане 2γ , град					многогранника или полуциркульного очертания	Прямоугольника
	45	60	75	90	120		
m	0,41	0,47	0,52	0,58	0,71	0,83	1
Примечание – В случае подвижки смёрзшегося с опорой ледяного поля для опоры с передней гранью в виде треугольника и прямоугольника принимается $m = 1$, для опор с передней гранью в виде многогранника или полуциркульного очертания $m = 1,26$.							

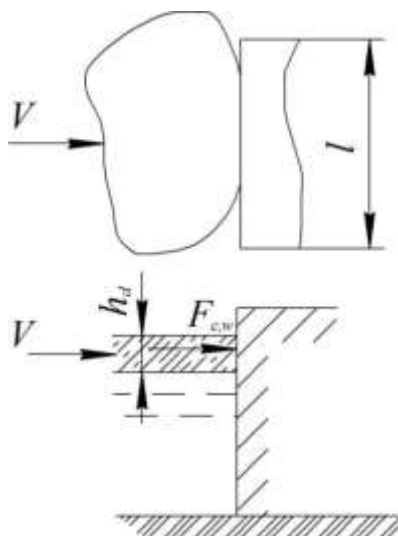


Рисунок 19 - Схема приложения нагрузки от движущегося ледяного поля на секцию сооружения

Таблица 18

Значение b/h_d	0,3 и менее	1	3	10	15	25	50 и более
Коэффициент k_b	5,5	3,3	2,2	1,3	1,1	1,0	0,5

b - ширина опоры по фронту на уровне действия льда, м

Таблица 19

Значение $\dot{\epsilon}_b, \text{с}^{-1}$	10^{-7} и менее	$5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2} и более
Коэффициент k_v	0,1	0,9	1,0	0,8	0,5	0,3

$\dot{\epsilon}_b$ – эффективная скорость деформации льда в зоне его взаимодействия с опорой, с^{-1} , определяемая по формуле $\dot{\epsilon}_b = V / (k_l b)$,

где k_l – коэффициент, принимаемый при b/h_d (или b_s/h_d) ≤ 15 равным 4, а при b/h_d (или b_s/h_d) ≥ 25 равным 2; при $15 \leq b/h_d$ (или b_s/h_d) ≤ 25 коэффициент k_l определяется линейной интерполяцией между значениями 4 и 2.

Нагрузка $F_{c,p}$, определённая по формуле (50), не может быть больше нагрузки $F_{b,p}$, МН, определяемой по формуле

$$F_{b,p} = m k_b k_v R_c b h_d, \quad (52)$$

а нагрузка $F_{c,w}$, определённая по формуле (51), не может быть больше нагрузки $F_{b,w}$, МН, определяемой по формуле

$$F_{b,w} = k k_v R_c b_s h_d, \quad (53)$$

где k – коэффициент, принимаемый по таблице 20;

b_s – ширина секции протяжённого сооружения по фронту на уровне действия льда, м.

Нагрузку от воздействия ледяного поля на опору с передней гранью в виде прямоугольника следует определять по формуле (52).

Таблица 20

Значение b/h_d	0,3 и менее	1	3	10	20	25 и более
Коэффициент k	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4

7.9 Нагрузку от воздействия движущегося ледяного поля на отдельно стоящую коническую опору или конический ледорез полуциркульного очертания (рисунок 20) при отсутствии смерзания со льдом необходимо определять по формулам:

а) горизонтальную составляющую нагрузки $F_{h,p}$, МН,

$$F_{h,p} = [k_{h,1}k_{v,f}R_f h_d^2 + 10^{-6}k_{h,2}\rho g h_d d^2 + 10^{-6}k_{h,3}\rho g h_d (d^2 - d_t^2)]k_{h,4}, \quad (54)$$

б) вертикальную составляющую нагрузки $F_{v,p}$, МН,

$$F_{v,p} = k_{v,1}F_{h,p} + 10^{-6}k_{v,2}\rho g h_d (d^2 - d_t^2), \quad (55)$$

где $k_{h,1}$, $k_{h,2}$ – коэффициенты, принимаемые по таблице 21;

$k_{h,3}$, $k_{h,4}$, $k_{v,1}$, $k_{v,2}$ – коэффициенты, принимаемые по таблице 22;

$k_{v,f}$ – коэффициент, принимаемый по таблице 23;

ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²;

d – диаметр конуса по ватерлинии, м;

d_t – верхний диаметр конуса, м;

R_f и h_d – обозначения те же, что в 7.4 и 7.8.

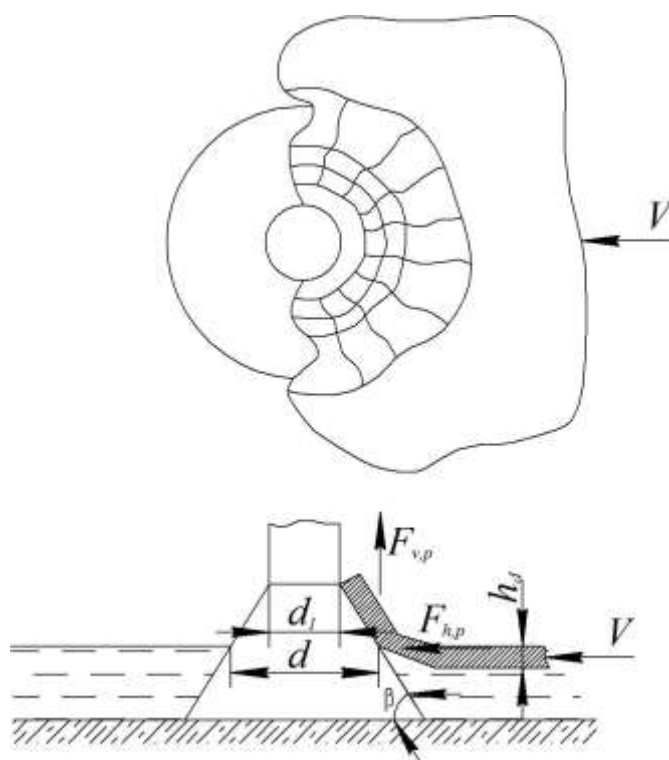


Рисунок 20 – Схема приложения нагрузок от движущегося ледяного поля на отдельно стоящую коническую опору

Таблица 21

Значение $\frac{10^{-6} \rho g d^2}{R_f h_d}$	0,1	0,5	1	5	10	25	50	100
Коэффициенты:								
$k_{h,1}$	1,6	1,6	1,7	1,9	2,1	2,5	2,9	3,5
$k_{h,2}$	0,31	0,24	0,21	0,11	0,08	0,05	0,02	0,02

Таблица 22

Значение β , град	20	30	40	50	60	70
Коэффициенты:						
$k_{h,3}$	0,25	0,27	0,31	0,36	0,46	0,67
$k_{h,4}$	0,7	0,9	1,3	1,8	2,6	5,3
$k_{v,1}$	2,2	1,6	1,1	0,8	0,5	0,3
$k_{v,2}$	0,041	0,042	0,039	0,034	0,026	0,017
β – угол наклона образующей конуса (передней грани сооружения откосного профиля) к горизонту, град. Примечание – Данные этой таблицы соответствуют коэффициенту трения между льдом и сооружением, равному 0,15.						

Таблица 23

Значение β , град	Значение $10^{-3} \cdot \rho V^2 / R_f$				
	0,08 и менее	0,8	1,6	3,2	5,4
	Коэффициент $k_{v,f}$				
40-50	1	2,0	2,7	3,7	4,7
60	1	2,0	2,6	3,5	3,6
70	1	1,9	2,5	2,6	2,7

На секцию откосного профиля или отдельно стоящую опору прямоугольного сечения с наклонной передней гранью (рисунок 21) нагрузку от воздействия движущегося ледяного поля следует определять по формулам:

а) горизонтальную составляющую нагрузки F_h , МН,

$$F_h = k_\beta k_\Delta R_f b h_d \operatorname{tg}(\beta + \operatorname{arctg} f) + m_h [1 + A_1 (f - 0,1) + A_2 (f - 0,1)^2] b, \quad (56)$$

б) вертикальную составляющую нагрузки F_v , МН

$$F_v = k_\beta k_\Delta R_f b h_d + m_v [1 + A_3 (f - 0,1)] b, \quad (57)$$

где k_β – коэффициент, принимаемый по таблице 24;

k_Δ – коэффициент, принимаемый по таблице 25;

m_h – коэффициент, принимаемый по таблице 26;

A_1, A_2, A_3 – коэффициенты, принимаемые по таблице 27;

m_v – коэффициент, принимаемый по таблице 28;

f – коэффициент трения.

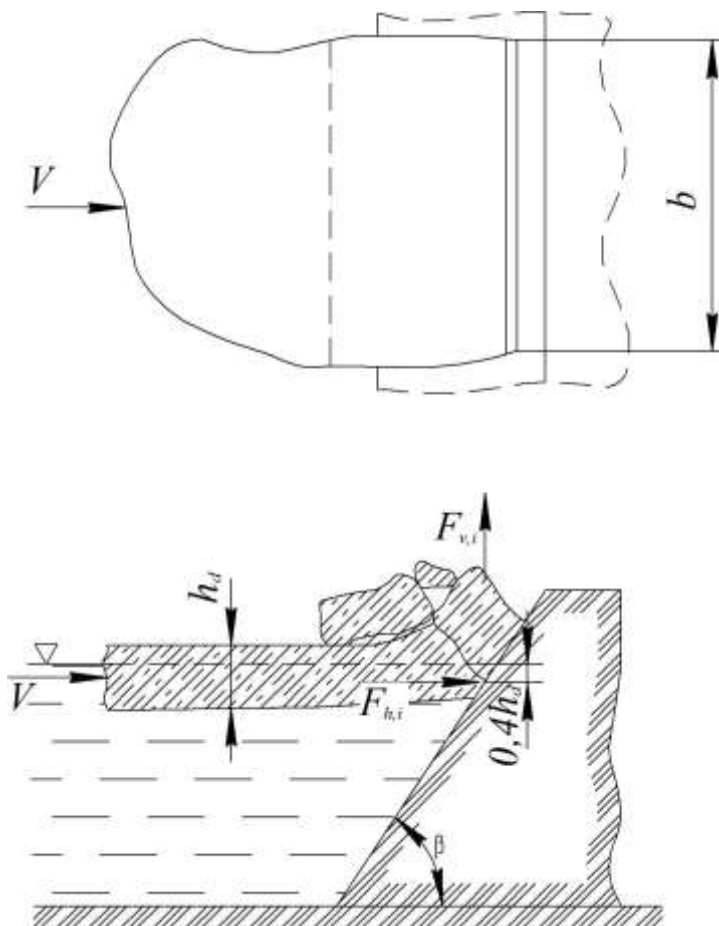


Рисунок 21 – Схема приложения нагрузок от движущегося ледяного поля на сооружение откосного профиля

Таблица 24

β , град	30	40	50	60	70
Коэффициент k_β	1,0	1,5	2,0	2,5	2,5

Таблица 25

h_d , м	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Коэффициент k_Δ	0,039	0,048	0,062	0,073	0,083

Таблица 26

h_d , м	Значения m_h , МН/м, при β , град				
	30°	40°	50°	60°	70°
0,5	0,044	0,058	0,143	0,316	0,746
1,0	0,089	0,178	0,319	0,642	1,463
2,0	0,238	0,484	0,746	1,394	3,076
3,0	0,499	0,847	1,213	2,157	4,635
4,0	0,622	1,303	1,790	3,084	6,510

Таблица 27

β , град	30	40	50	60	70
A_1	1,92	2,01	2,09	2,17	2,22
A_2	1,19	2,68	4,70	12,20	60,0
A_3	2,07	1,35	0,75	0,41	0,24

Таблица 28

h_d , м	Значения m_v , МН/м, при β , град				
	30	40	50	60	70
0,5	0,018	0,056	0,095	0,138	0,186
1,0	0,157	0,172	0,211	0,281	0,365
2,0	0,426	0,444	0,485	0,607	0,767
3,0	0,721	0,740	0,773	0,933	1,155
4,0	1,080	1,099	1,122	1,327	1,620

Коэффициенты k_β , m_h и m_v принимаются в зависимости от h_d , м.

В случае подвижки смёрзшегося с коническим сооружением ледяного поля горизонтальная составляющая нагрузки $F_{h,f}$, МН, определяется как на цилиндрическую опору с расчётной шириной b , равной диаметру конуса на уровне действия льда, по формуле

$$F_{h,f} = k_{\beta i} F_{b,p}, \quad (58)$$

где $k_{\beta i}$ – коэффициент, принимаемый по таблице 29;

$F_{b,p}$ – обозначение то же, что в 7.8.

Вертикальная составляющая нагрузки $F_{v,p}$ в этом случае отсутствует.

Таблица 29

Угол наклона образующей β , град	45	60	75	90
Коэффициент $k_{\beta i}$	0,60	0,79	0,92	1,00

7.10 Нагрузку от воздействия движущегося ледяного поля на сооружение, состоящее из системы вертикальных колонн (свай, свай-оболочек и т.п.), необходимо определять в зависимости от просвета между сваями (S) (рисунок 22).

Нагрузка от воздействия движущегося ледяного поля на каждый из элементов поперёк направления движения ледяных полей с просветами $S \leq 2 \cdot h_d$ определяется по формуле:

$$F_n = F_1 \left[\frac{k_{bn}}{k_b} + \left(1 - \frac{k_{bn}}{k_b} \right) \frac{S + b_1}{2h_d + b_1} \right], \quad (59)$$

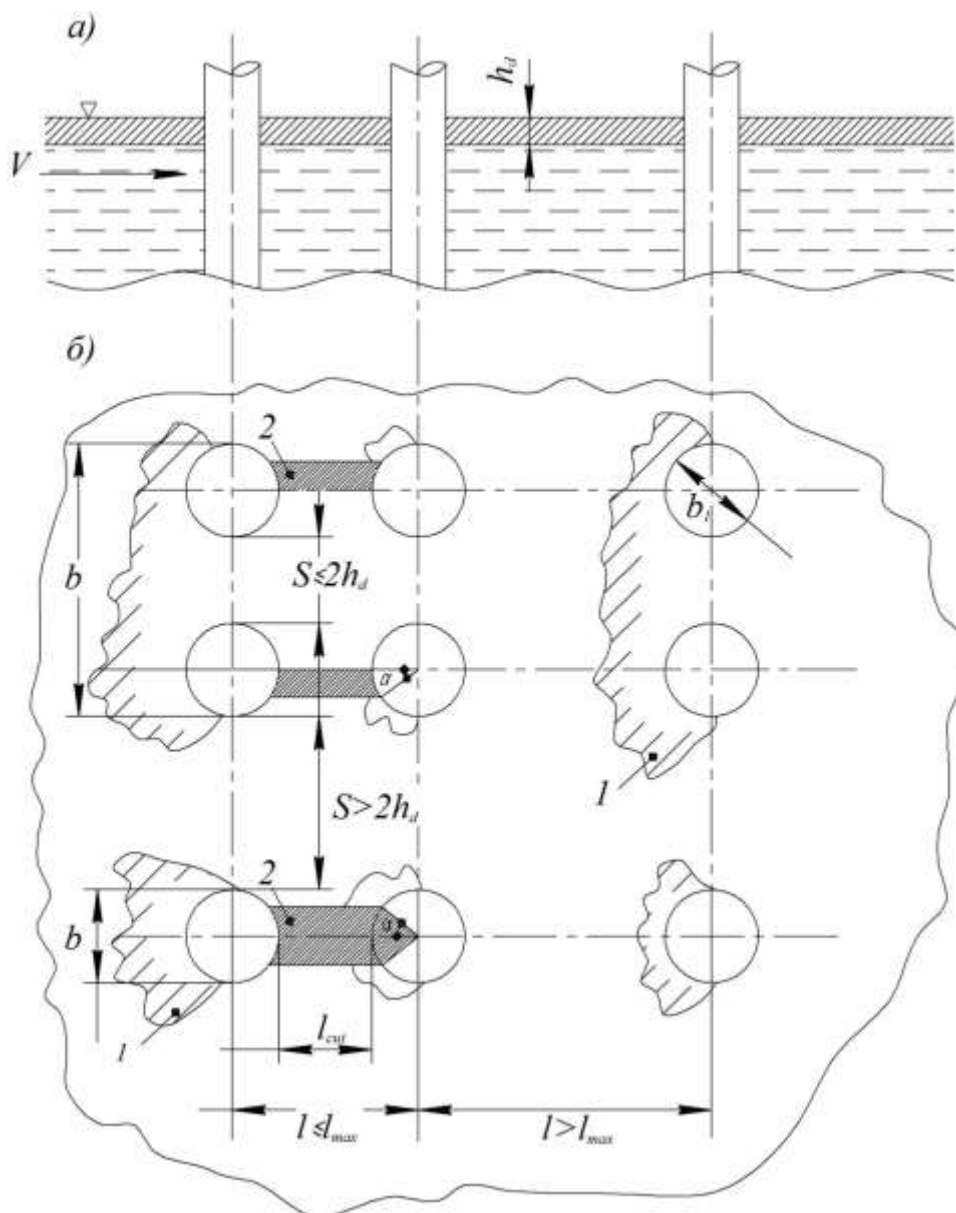
где F_1 – сила от воздействия ледяных полей на один элемент шириной b_1 рассматриваемого сооружения, определяемая для соответствующих ледовых условий, воздействия ледяных полей и конструкции опор по формулам (50) – (58);

k_{bn} – коэффициент, определяемый по таблице 18 для суммарной ширины n элементов, входящих в сооружение. На каждый элемент действует сила в n раз

меньше, чем на все сооружение.

Если в ряду из n элементов имеется j просветов $S > 2h_d$, то ряд следует разбить на $(j+1)$ сооружений, между которыми просветы $S \leq 2h_d$. Расчёт каждого из $(j+1)$ сооружений производят по формуле (59).

За расчётное воздействие следует принимать наименьшую силу, определённую по формуле (59) и формулам (50) – (58) для соответствующих ледовых воздействий.



a, b - профиль и план ряда из столбов диаметром b_1

1 – скол (смятие) льда; 2 – срез льда между столбами

Рисунок 22 – Характер разрушения ледяного покрова в зависимости от расположения элементов опор относительно друг друга

7.11 Определяющей характеристикой ледовых воздействий при первой подвижке льда на элементы системы вертикальных колонн (свай, свай-оболочек и т.п.) является расстояние между элементами ряда (по их осям) - l .

Максимальное расстояние между элементами ряда (по их осям) l_{max} , при котором происходит срез льда между этими элементами, определяется по формуле

$$l_{max} = b_1 \left(0,7 + 0,3 \left(\frac{h_d}{b_1} \right)^{1/4} \right). \quad (60)$$

При $l > l_{max}$ каждый элемент в ряду, расположенный вдоль направления движения ледяных полей работает независимо друг от друга (у каждого элемента происходит смятие льда).

При первой подвижке льда на второй и последующие элементы системы вертикальных колонн (свай, свай-оболочек и т.п.), расположенные вдоль направления движения ледяных полей на расстоянии друг от друга (по осям) $l \leq l_{max}$ действует сила, F_{cut} которую следует определять как доли от силы F_f , действующей на первый элемент ряда

$$F_{cut} = \xi F_f, \quad (61)$$

где ξ – коэффициент снижения воздействия льда на последующие элементы ряда

$$\xi = 0,133 \frac{n_{cut}}{m} \left(\frac{b_1}{h_d} \right)^{1/4} \frac{l_{cut}}{b_1} \xi_0, \quad (62)$$

где n_{cut} – число плоскостей среза между элементами ряда;

l_{cut} – длина плоскости среза;

$$\xi_0 = 1 + 0,65 \left(\frac{b_1}{l} \right)^{1,75}. \quad (63)$$

7.12 Число плоскостей среза n_{cut} между элементами ряда, расположенного параллельно направлению нагрузки, принимается равным:

$n_{cut} = 2$ при одиночном ряду;

$n_{cut} = 1$ при двух взаимодействующих рядах;

при трёх и более взаимодействующих рядах для крайних $n_{cut} = 1$, для внутренних рядов $n_{cut} = 0$ (т.е. ледовая нагрузка отсутствует).

За одиночный принимают ряд, который по фронту (поперёк направления нагрузки) удалён (имеется просвет) от других сооружений (или их элементов) на $S > 2h_d$.

За количество взаимодействующих рядов более 2-х принимают ряды, которые по фронту имеют просветы $S \leq 2h_d$.

7.13 Длина плоскости среза l_{cut} между элементами ряда, параллельного направлению нагрузки, определяется геометрией двух взаимодействующих элементов в ряду

$$l_{cut} = l - \frac{1}{2} b_1 \cos \alpha \quad (64)$$

где α – угол сектора элемента опоры в плане, в пределах которого происходит срез льда. В диапазоне $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ (в градусах)

$$\alpha = 30^\circ \sqrt{\frac{l}{b_1}}. \quad (65)$$

7.14 Если элементы ряда (свай, свай-оболочек и т.п.), расположенные вдоль направления движения ледяных полей, соединены между собой стеной толщиной Δ , то при первой подвижке льда на второй и последующие элементы ряда действует сила:

$$F_{cut} = F_f \xi \left(1 - \frac{\Delta}{\xi_0 b_1 \sin \alpha} \right) \quad \text{при } \Delta \leq b_1 \sin \alpha; \quad (66)$$

$$F_{cut} = F_f \xi \left(1 - \frac{1}{\xi_0} \right) \left(\frac{1 - \Delta / b_1}{1 - \sin \alpha} \right) \quad \text{при } \Delta > b_1 \sin \alpha, \quad (67)$$

где α – половина угла сектора, на ширине которого происходит срез льда между столбами.

7.15 При косом направлении нагрузки на второй и последующие элементы ряда, расположенные вдоль движения ледяных полей, их совместная работа происходит при соблюдении условий $l \leq l_{max}$, и $l < b_1 / \sin \gamma$. На элементы ряда в этом случае действует сила, характеризующая как смятие, так и сдвиг льда и определяемая по формуле

$$F_y = F_{b,p} - (F_{b,p} - F_{cut}) \left(\frac{b_1}{l} - \sin \gamma \right) \frac{l}{b_1}, \quad (68)$$

где $F_{b,p}$ – усилие при разрушении ледяного покрова за счёт смятия льда, определяемое по формуле (52);

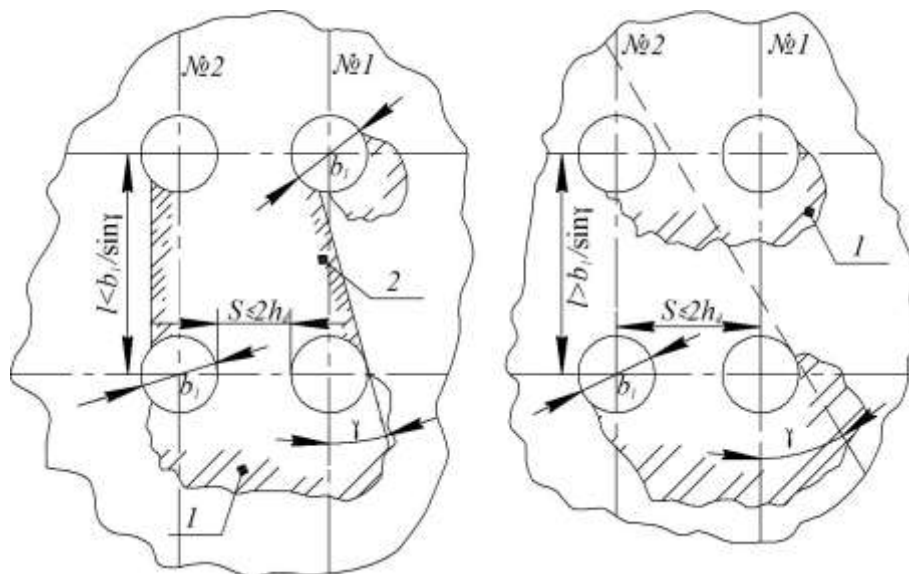
F_{cut} – усилие, при котором происходит срез льда между элементами ряда, определяемое по формуле (61) при $n_{cut} = 1$. Составляющая силы F_y , характеризующая сдвиг, будет только в том случае, если внешняя плоскость сдвига будет «упираться» в жестяной элемент (рисунок 23). Это условие соблюдается при неравенстве $l < b_1 / \sin \gamma$.

При соблюдении указанных выше двух условий для расстояния l между элементами на второй и последующие элементы взаимодействующего ряда, расположенного ниже по направлению движения ледяных полей (на рисунке 23 ряд № 2), будет действовать сила, определяемая по формуле (61) при $n_{cut} = 1$.

Если взаимодействующих рядов больше двух, то для последующих элементов внутренних рядов $n_{cut} = 0$ (т.е. нагрузки не будет).

При несоблюдении неравенства $l < b_1 / \sin \gamma$ с некоторым запасом принимается, что последующие элементы взаимодействующих (а также невзаимодействующих) рядов рассчитываются как первые элементы в рядах, параллельных направлению нагрузки (см. 7.10), т.е. как при $l > l_{max}$ (рисунок 23).

Под взаимодействующими рядами понимаются ряды, между элементами которых в направлении параллельном поперечной оси опоры просветы $S \leq 2 \cdot h_d$.



1 - скол (смятие льда); 2 - плоскость среза льда

Рисунок 23 – Схема разрушения льда при косом направлении воздействия ледяных полей на элементы опор

7.16 Воздействие льда в период ледохода на второй и последующие элементы опоры в ряду, расположенном параллельно направлению нагрузки (движения ледяных полей), не учитывается, поскольку первые элементы ряда работают как аванпостные сооружения, у которых происходит разрушение ледяных полей.

При косом подходе ледяных полей к опоре ($\gamma \geq 10^\circ$), элементы которой составляют два и более продольных ряда, нагрузку воспринимают, кроме первых элементов продольных рядов (как при отсутствии косины), все элементы ряда № 1 (рисунок 23). Расчёт нагрузки на каждый элемент определяют согласно 7.10. Причём, для последующих элементов ряда № 1 в расчётах следует принимать $S = (l - b_1) \sin \gamma$.

7.17 Общая нагрузка на опору, состоящую из n элементов (составляющих продольные и поперечные ряды), определяется как сумма нагрузок на каждый элемент.

7.18 Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки, определённой согласно 7.8 – 7.17, необходимо принимать ниже расчётного уровня воды на $0,2h_d$ в зимний период и на $0,4h_d$ в период весеннего ледохода.

Локальное давление ледовых образований

7.19 Локальное давление на элементы сооружений от воздействия ледовых образований не должно превышать предела прочности льда на сжатие R_c .

7.20 Нагрузку от воздействия *остановившегося поля ровного льда, наваливающегося на сооружение при действии течения воды и ветра* F_s , МН, необходимо определять по формуле

$$F_s = (p_\mu + p_V + p_i + p_{\mu,a})A, \quad (69)$$

в которой величины p_μ , p_V , p_i и $p_{\mu,a}$, МПа, определяются по формулам:

$$p_\mu = 5 \cdot 10^{-9} \rho V_{\max}^2, \quad (70)$$

$$p_V = 5 \cdot 10^{-7} \frac{h_d \rho V_{\max}^2}{L_m}, \quad (71)$$

$$p_i = 9,4 \cdot 10^{-7} h_d \rho g i, \quad (72)$$

$$p_{\mu,a} = 2 \cdot 10^{-11} \rho V_{w,\max}^2, \quad (73)$$

где $V_{\max}$ – максимальная скорость течения воды подо льдом в период ледохода, м/с;

$V_{w,\max}$ – максимальная скорость ветра в период ледохода, м/с;

L_m – средняя длина ледяного поля по направлению потока, принимаемая по данным натурных наблюдений, при их отсутствии для рек L_m принимается равной утроенной ширине реки, м;

i – уклон поверхности потока;

h_d и A – обозначения те же, что в 7.8.

При этом, нагрузка F_s , определённая по формуле (69), не может быть больше нагрузки $F_{b,w}$, определённой по формуле (53) при $k_v = 0,1$.

Примечания:

1 Расчётная ширина ледяного поля принимается по данным натурных наблюдений, а для затворов или аналогичных сооружений - не более ширины пролёта сооружения.

2 Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки необходимо принимать ниже расчётного уровня воды на $0,2h_d$ в зимний период, а в период весеннего ледохода – на $0,4h_d$.

Нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении

7.21 За расчётную нагрузку на сооружение от воздействия сплошного ледяного поля при его температурном расширении (q , кН/м) принимается наибольшее из значений q , определённых для случаев, когда из имеющегося ряда наблюдений за температурой воздуха приняты расчётные периоды либо с минимальной температурой и соответствующим ей градиентом, либо с максимальным градиентом и соответствующей ему температурой.

7.22 Нагрузку q , кН/м, на единицу длины сооружения от воздействия сплошного ледяного покрова при его температурном расширении следует определять по формуле

$$q = h_d k_L p \quad (74)$$

где h_d – обеспеченная толщина ровного льда, м (7.8);

k_L – коэффициент потери устойчивости ледяного покрова, назначаемый по таблице 30.

Таблица 30

Протяжённость ледяного покрова, м	50	70	90	120	150 и более
Коэффициент k_L	1	0,9	0,8	0,7	0,6

p – давление за счёт упругой и пластической деформации, кПа, при температурном расширении льда солёностью $S > 2$ ‰ принимается равным 100 кПа и нагрузка на единицу длины сооружения определяется по формуле

$$q = 100 h_d k_L. \quad (75)$$

При солёности $S < 2$ ‰ давление p определяется по формуле

$$p = \sigma_0 + 2\alpha V_t \mu, \quad (76)$$

где σ_0 – предел упругости льда при сжатии, кПа,

α – коэффициент линейного расширения льда, град⁻¹,

V_t – скорость повышения температуры воздуха град/с,

μ – коэффициент вязкости льда, кПа·с, определяемый по формулам:

$$\mu = 3,6(3,3 - 0,28t_i + 0,083t_i^2)10^8 \quad \text{при } t_i \geq -20^\circ\text{C}, \quad (77)$$

$$\mu = 3,6(3,3 - 1,85t_i)10^8 \quad \text{при } t_i \leq -20^\circ\text{C}, \quad (78)$$

t_i – температура льда, °C, определяемая по формуле

$$t_i = t_{0min} \eta_0 + \frac{V\tau}{2} \psi, \quad (79)$$

t_{0min} – начальная минимальная температура, с которой начинается ее повышение, °C,

η_0 – относительная толщина ледяного покрова с учётом влияния снега, определяемая по формуле

$$\eta_0 = \frac{h_d}{h_{red}}, \quad (80)$$

h_{red} – приведённая толщина ледяного покрова, м, определяемая по формуле

$$h_{red} = h_d + 1,43h_s + \frac{\lambda}{\alpha}, \quad (81)$$

h_s – наименьшая толщина снежного покрова, м,

λ – теплопроводность льда, Вт/(мК),

α – коэффициент теплоотдачи с верхней поверхности ледяного покрова, Вт/(м²К), определяемый по формуле

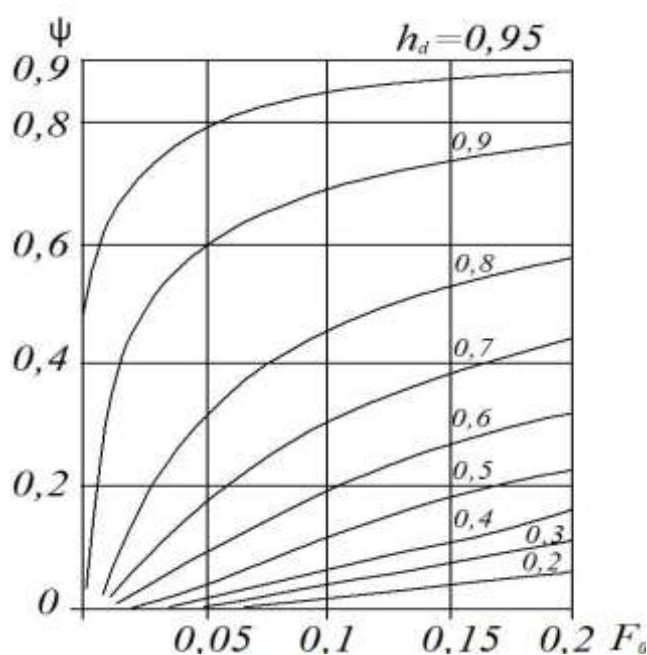
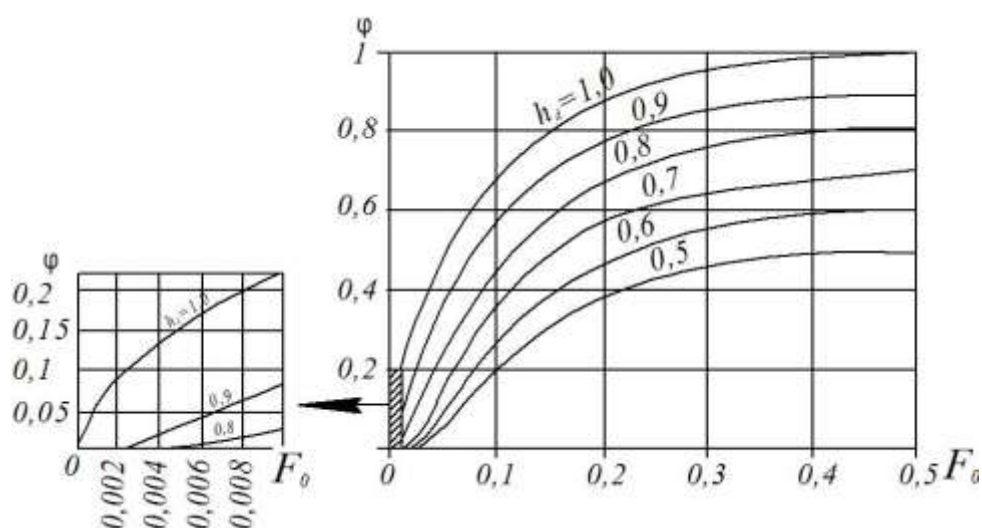
$$\alpha = Bw, \quad (82)$$

w – средняя скорость ветра, м/с; коэффициент B определяется по таблице 31.

ψ , φ – безразмерные коэффициенты, принимаемые по графикам рисунка 24 и рисунка 25 при заданных значениях относительных значениях толщины ледяного покрова и безразмерного значения $F_0 = \frac{a\tau}{h_d^2}$, a – коэффициент температуропроводности льда, $\text{м}^2/\text{с}$.

Таблица 31

$t_{air}, ^\circ\text{C}$,	-40	-30	-20	-10	0	10
$B, \text{Дж}/(\text{м}^3\text{К})$	7,12	6,88	6,67	6,48	6,27	6,07

Рисунок 24 – Графики значений коэффициента ψ Рисунок 25 – Графики значений коэффициента φ

Нагрузки от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды

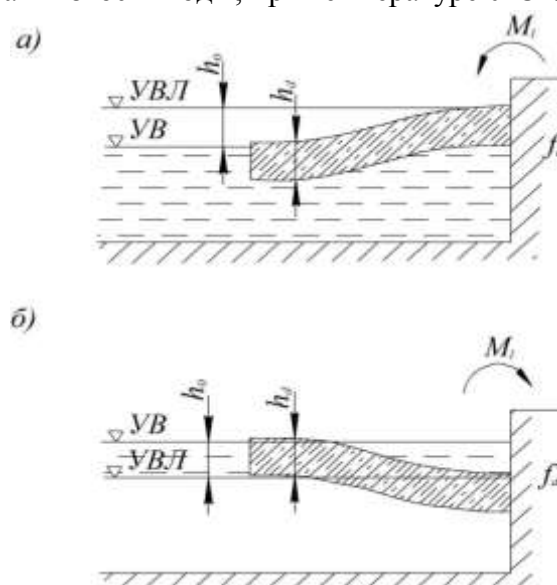
7.23 Вертикальную нагрузку (на 1 м длины по фронту сооружения) от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды f_d , МН/м (рисунок 26), следует определять по формуле

$$f_d = 2,24 \cdot 10^{-4} \rho g h_0 h_d \left(\frac{v^2}{g h_d^3} \right)^{1/12}, \quad (83)$$

где h_0 – изменение уровня воды, м; при этом $h_0 \leq h_d$;

h_d – обеспеченная толщина ровного льда, м (7.8);

ν – кинематическая вязкость воды; при температуре 0°C $\nu = 1,793 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.



а – при понижении УВ; б – при повышении УВ; УВЛ – уровень воды при ледоставе

Рисунок 26 – Схемы приложения нагрузок от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды (УВ)

Нагрузка f_d , определённая по формуле (83), не может быть больше нагрузки $f_{d,lim}$, МН/м, определяемой по формуле

$$f_{d,lim} = 7,68 \cdot 10^{-2} h_d \left(\frac{v^2}{g h_d^3} \right)^{1/12} (\sigma_{c,lim} + \sigma_{t,lim}), \quad (84)$$

где $\sigma_{c,lim}$ – предельное напряжение в сжатом слое изгибаемого ледяного покрова, МПа, определяемое как $(C_i + \Delta_i)$ для нижнего слоя ледяного покрова при температуре t_b в случае понижения уровня воды или для верхнего слоя ледяного покрова при температуре t_u в случае повышения уровня воды;

$\sigma_{t,lim}$ – предельное напряжение в растянутом слое изгибаемого ледяного покрова, МПа, определяемое как $0,3(C_i + \Delta_i)$ для верхнего слоя ледяного покрова при температуре t_u в случае понижения уровня воды или для нижнего слоя ледяного

покрова при температуре t_b в случае повышения уровня воды;

t_u – температура льда на границе лёд-воздух, град.

C_i , Δ_i , t_b – обозначения те же, что в 7.4.

7.24 Момент силы, воспринимаемый 1 м протяжённого сооружения от примёрзшего ледяного покрова, M_l , (МН·м)/м, при изменении уровня воды (рисунок 26), необходимо определять по формуле

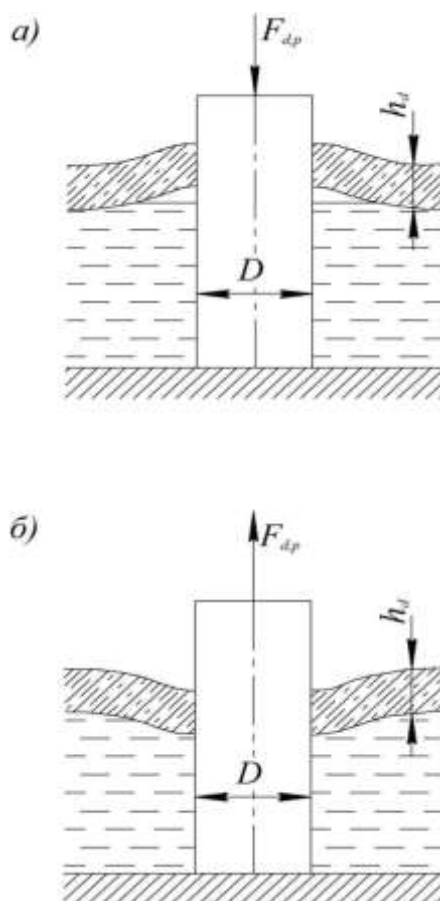
$$M_l = 2,2 \cdot 10^{-6} \rho g h_0 h_d \left(\frac{g h_d^3}{v^2} \right)^{1/6}, \quad (85)$$

где h_0 , h_d – обозначения те же, что в 7.23.

При этом момент силы M_l , определённый по формуле (85), не может быть больше момента $M_{l,\text{lim}}$, (МН·м)/м, определяемого по формуле

$$M_{l,\text{lim}} = \frac{h_d^2 (\sigma_{c,\text{lim}} + \sigma_{t,\text{lim}})}{12}, \quad (86)$$

где $\sigma_{c,\text{lim}}$, $\sigma_{t,\text{lim}}$ – обозначения те же, что 7.23.



а – при понижении УВ; б – при повышении УВ

Рисунок 27 – Схемы приложения нагрузки к отдельно стоящей опоре от примёрзшего к ней ледяного покрова при изменении уровня воды (УВ)

7.25 Вертикальную нагрузку на отдельно стоящую опору или свайный куст от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды $F_{d,p}$, МН (рисунок 27), необходимо определять по формуле

$$F_{d,p} = k_f R_f h_d^2, \quad (87)$$

где k_f – коэффициент, определяемый по формуле

$$k_f = 0,6 + 0,15D / h_d, \quad (88)$$

где D – поперечный размер (диаметр) опоры или свайного куста, м;

R_f и h_d – обозначения те же, что в 7.4 и 7.23.

Примечание – При прямоугольной форме опоры в плане со сторонами b и c , или для сооружения, состоящего из системы колонн или куста свай с внешними размерами опорной части на уровне действия льда b и c , м, принимается $D = \sqrt{bc}$, м.

7.26 Вертикальную нагрузку на сооружение, состоящее из системы вертикальных колонн, от примёрзшего к опорам ледяного покрова при изменении уровня воды $F_{d,f}$, МН (рисунок 28), необходимо определять по формулам

$$F_{d,f} = K F_{d,p} n, \quad (89)$$

$$K = \prod_{k=1}^{(n-1)} K_k, \quad (90)$$

где K – коэффициент, определяемый как произведение коэффициентов K_k , принимаемых для каждой из n колонн по графикам рисунка 29 при заданных

значениях a_k , b и параметра $A = \frac{b}{11h_d} \left(\frac{gh_d^3}{v^2} \right)^{1/12}$, v – кинематическая вязкость воды,

м²/с; при $g = 9,81$ м/с² и $v = 1,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с параметр $A = \frac{b}{h_d^{3/4}}$.

a_k – расстояние от оси произвольно выбранной основной колонны до оси k -й колонны (рисунок 28), м;

n – число колонн в сооружении;

b , h_d и $F_{d,p}$ – обозначения те же, что в 7.8, 7.23, 7.25.

Нагрузки на сооружения от заторных и зажорных масс льда

7.27 Нагрузку от движущейся заторной массы льда на сооружение $F_{b,j}$, МН, необходимо определять по формуле

$$F_{b,j} = 0,5 m R_{b,j} b h_{b,i}, \quad (91)$$

где $R_{b,j}$ – нормативное сопротивление заторной массы льда смятию, МПа, определяемое по данным натурных наблюдений; при их отсутствии принимается равным:

0,45 МПа – для участков рек севернее линии "Воркута – Ханты-Мансийск – Красноярск – Улан-Удэ – Благовещенск – Николаевск на Амуре",

0,35 МПа – между линиями "Воркута – Ханты-Мансийск – Красноярск – Улан-Удэ – Благовещенск – Николаевск на Амуре" и "Архангельск – Киров – Уфа – Усть-Каменогорск",

0,25 МПа – южнее линии "Архангельск – Киров – Уфа – Усть-Каменогорск";

$h_{b,i}$ – расчётная толщина заторной массы, м, определяемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии по формуле

$$h_{b,i} = a_i H_{b,i}, \quad (92)$$

где $H_{b,i}$ – средняя глубина реки выше затора при максимальном расходе воды заторного периода, м;

a_i – коэффициент, принимаемый по таблице 32;

t, b – обозначения те же, что в 7.8.

Таблица 32 – Значения коэффициента для определения расчётной толщины заторной массы

Значение $H_{b,i}$	3	5	10	15	20	25
Коэффициент a_i	0,85	0,75	0,45	0,40	0,35	0,28

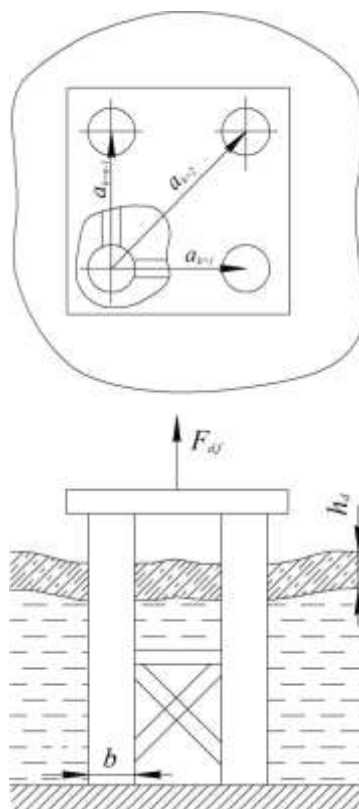


Рисунок 28 – Схема приложения нагрузки к сооружению, состоящему из системы вертикальных колонн, от примёрзшего к нему ледяного покрова при повышении уровня воды (при понижении уровня воды сила $F_{d,f}$ направлена вниз)

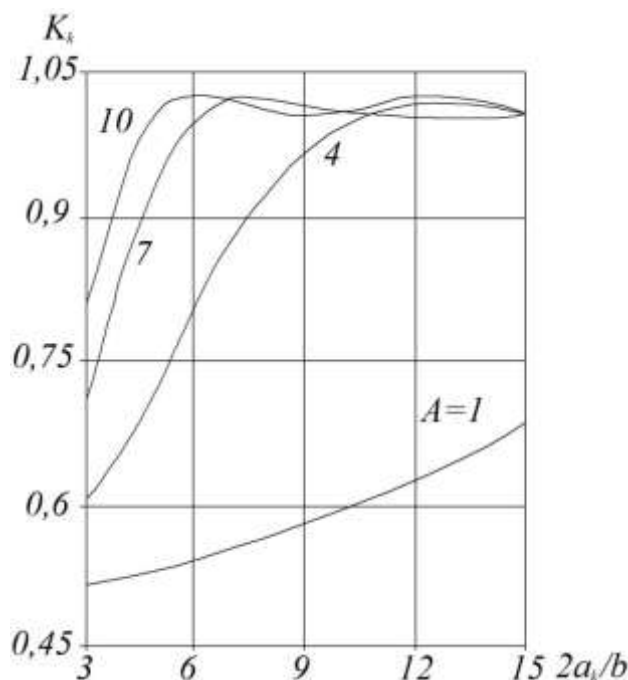


Рисунок 29 – Графики значений коэффициентов K_k

7.28 Нагрузку от движущейся зазорной массы на отдельно стоящую опору $F_{b,j}$, МН, необходимо определять по формуле

$$F_{b,j} = mR_{b,j}bh_j, \quad (93)$$

где $R_{b,j}$ – нормативное сопротивление зазорной массы смятию, МПа, определяемое по данным натурных наблюдений; при их отсутствии принимается равным 0,12 МПа;

h_j – расчётная толщина зазора, м, определяемая по данным натурных наблюдений; при их отсутствии принимается равной 0,8 от средней глубины потока при расходе воды зазорного периода;

m , b – обозначения те же, что в 7.8.

Нагрузки от движущегося тороса

7.29 Нагрузка от воздействия движущихся торосов и стамух на сооружения вертикального и откосного (при $\beta \geq 40^\circ$) профиля F_r , МН (рисунок 30), определяются как сумма:

$$F_r = F_u + F_c + F_k, \quad (94)$$

где:

F_u - нагрузка от надводной части ледяного образования (паруса), МН;

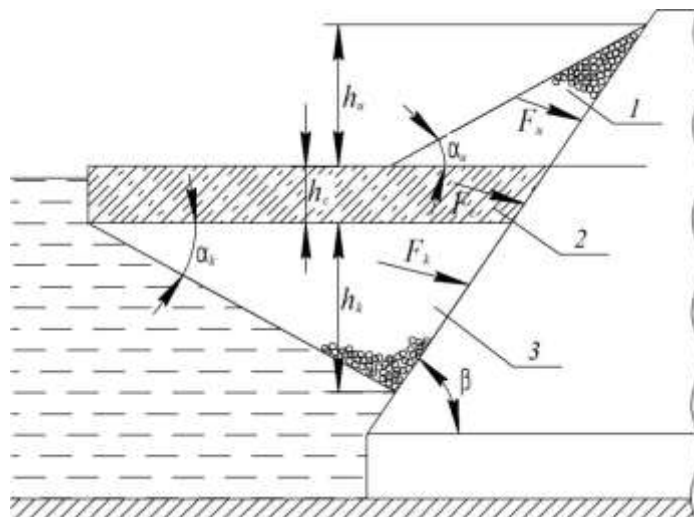
F_c - нагрузка от консолидированной части ледяного образования, МН;

F_k - нагрузка от подводной части ледяного образования (киля), МН.

7.30 Нагрузка от надводной части тороса вычисляется по формулам:

а) горизонтальная составляющая нагрузки $F_{u,h}$, МН,

$$F_{u,h} = 0,5 \left[10^{-6} \rho_i g (1 - \Psi_u) h_u^2 k_{u,\phi} + c_u \operatorname{ctg} \phi_u (k_{u,c} - 1) h_u \right] b_u, \quad (95)$$



1 - надводная часть тороса (парус); 2 - консолидированная часть тороса; 3 - киль тороса
Рисунок 30 – Расчётная модель тороса в момент наибольшего воздействия на сооружение

б) вертикальная составляющая нагрузки $F_{u,v}$, МН,

$$F_{u,v} = F_{u,h} \operatorname{tg}(90 - \beta - \alpha_f) - 0,5 c_u \operatorname{ctg} \varphi_u \operatorname{tg} \alpha_f h_u b_u, \quad (96)$$

где ρ_i – плотность льда, кг/м³;

Ψ_u – пористость ледяного образования, при отсутствии специальных исследований принимается $\Psi_u = 0,5$;

b_u – средняя ширина преграды по фронту в зоне действия ледяного образования, м;

c_u – сцепление между обломками льда в ледяном образовании, МПа, определяемое по опытным данным; при их отсутствии принимается $c_u = 0,003 \dots 0,005$ МПа;

φ_u – угол внутреннего трения ледяного образования, град; при отсутствии специальных исследований следует принимать $\varphi_u = 35 - 40^\circ$;

h_u – расчётная высота ледяного образования, определяемая по натурным данным; при их отсутствии h_u определяется по формуле:

$$h_u = 3,69 \sqrt{0,8 h_t}, \quad (97)$$

где h_t – толщина льда на момент образования тороса, м, но не более 0,6 м;

$k_{u,\varphi}$ и $k_{u,c}$ – коэффициенты горизонтальной составляющей пассивного давления ледяного образования, вычисляемые по формулам:

$$k_{u,\varphi} = \left\{ \frac{\cos(\varphi_u + 90 - \beta)}{\cos(90 - \beta) [1 - \sqrt{k_1}]} \right\}^2, \quad (98)$$

$$k_{u,c} = \left\{ \frac{\cos(\varphi_u + 90 - \beta + \alpha_u)}{\cos(90 - \beta) [1 - \sqrt{k_2}]} \right\}^2 k_3, \quad (99)$$

где:

$$k_1 = \frac{\sin(\varphi_u + \alpha_f) \sin(\varphi_u - \alpha_u)}{\cos(90 - \beta - \alpha_f) \cos(90 - \beta + \alpha_u)}, \quad (100)$$

$$k_2 = \frac{\sin(\varphi_u + \alpha_f) \sin \varphi_u}{\cos(90 - \beta - \alpha_f + \alpha_u) \cos(90 - \beta + \alpha_u)}, \quad (101)$$

$$k_3 = \frac{\cos(90 - \beta) \cos(90 - \beta - \alpha_f)}{\cos(90 - \beta - \alpha_f + \alpha_u) \cos(90 - \beta + \alpha_u)}, \quad (102)$$

где α_f - угол трения между льдом и сооружением, град;

$$\alpha_f = \arctg f, \quad (103)$$

f - коэффициент трения между льдом и сооружением, при отсутствии специальных исследований принимается $f = 0,1-0,2$;

α_u - угол наклона откоса ледяного образования к горизонту, при отсутствии специальных исследований принимается $\alpha_u = 30^\circ$;

β - обозначение то же, что в 7.9.

Точка приложения равнодействующей нагрузки от надводной части ледяного образования принимается выше уровня воды на $1/3 h_u$, при $F_{u,v} < 0$ нагрузка на сооружение направлена вверх.

7.31 Нагрузка от консолидированной части ледяного образования вычисляется по формулам:

а) горизонтальная составляющая нагрузки $F_{c,h}$, МН, по формуле (52) - для отдельно стоящего сооружения и по формуле (53) - для секции протяжённого сооружения с заменой величины h_d на h_c - расчётную толщину консолидированной части и умножением значения R_c на коэффициент r_c - отношение прочностей консолидированной части и ровного льда на сжатие, определяемый по опытным данным; при их отсутствии следует принимать $r_c = 0,8$, где h_d , R_c - обозначения те же, что в 7.4 и 7.8; толщина консолидированной части тороса $h_c = (1,8-2,0)h_d$ (приложение Р).

б) вертикальная составляющая нагрузки $F_{c,v}$, МН,

$$F_{c,v} = F_{c,h} \operatorname{tg}(90 - \beta - \alpha_f), \quad (104)$$

Точка приложения равнодействующей нагрузки от консолидированной части принимается ниже уровня воды на $0,5h_c$.

7.32 Нагрузка от кия вычисляется по формулам:

а) горизонтальная составляющая нагрузки $F_{k,h}$, МН,

$$F_{k,h} = 0,5 \left[10^{-6} (\rho - \rho_i) g (1 - \psi_k) (h_k - h_c)^2 k_k + c_k \operatorname{ctg} \varphi_k (k_k - 1) (h_k - h_c) \right] b_k, \quad (105)$$

б) вертикальная составляющая нагрузки $F_{r,h}$, МН,

$$F_{k,v} = F_{k,h} \operatorname{tg}(90 - \beta - \alpha_f) - 0,5c_k \operatorname{ctg}\varphi_k \operatorname{tg}\alpha_f (h_k - h_c) b_k, \quad (106)$$

где ψ_k – пористость (пустотелость) ледяного образования, определяемая по опытным данным; при их отсутствии принимается $\psi_k = 0,3 - 0,4$;

h_k – расчётная глубина ледяного образования, м; при назначении расчётной глубины ледяного образования следует учитывать, что $h_k / h_u = 2 - 6$;

b_k – средняя ширина преграды по фронту в зоне действия ледяного образования, м;

c_k – сцепление (с учётом зацепа) ледяного образования, МПа, определяемое по опытным данным; при их отсутствии принимается $c_k = 0,02 - 0,03$ МПа;

φ_k – угол внутреннего трения ледяного образования, град, определяемый по опытным данным; при их отсутствии принимается $\varphi_k = 15 - 20^\circ$;

k_k – коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления нагромождения обломков льда, вычисляемый по формулам:

$$k_k = \left[\frac{\cos(\varphi_k + 90 - \beta)}{\cos(90 - \beta)(1 - \sqrt{k_4})} \right]^2, \quad (107)$$

$$k_4 = \frac{\sin(\varphi_k + \alpha_f) \sin \varphi_k}{\cos(90 - \beta - \alpha_f) \cos(90 - \beta)}. \quad (108)$$

ρ – обозначение то же, что в 7.9.

Нагрузка $F_{k,h}$, определённая по формуле (105), не может быть ни в каком случае больше нагрузки $F_{b,j}$, определённой по формуле (93) при замене в ней величин b и h_j на b_k и $(h_k - h_c)$ соответственно.

Точка приложения равнодействующей нагрузки от подводной части ледяного образования принимается ниже уровня воды на $0,33(h_k - h_c)$.

Примечание - Нагрузка на сооружение вертикального профиля определяется при $\beta = 90^\circ$.

За положительное направление вертикальной составляющей нагрузки от паруса, консолидированной части и киля тороса принимается направление «вверх».

Нагрузки от движущегося айсберга

7.33 Нагрузка от движущегося айсберга на сооружения определяется с использованием следующих исходных данных:

- частота появления айсбергов в заданном квадрате моря (2 град. по широте и 5 град. по долготе) и возможность соударения айсберга и сооружения (определяются по результатам мониторинга айсбергов в районе строительства сооружений и по архивным данным);

- наиболее вероятный (расчётный) размер айсберга и условная вероятность столкновения сооружения с айсбергом - P_{iml} , которая должна быть не ниже 10^{-4} ;

- скорость подхода айсберга к сооружению V , м/с (по данным мониторинга и архивным данным);

- геометрические размеры айсберга: высота надводной части h_u , м; глубина

погружения подводной части h_k , м (по данным мониторинга и архивным данным);

- плановые размеры надводной поверхности: ширина D , м; длина L , м (по данным мониторинга и архивным данным);

- коэффициент формы айсберга k_f ;

- коэффициент формы фронтальной поверхности m ;

- гидрометеорологический режим в заданном квадрате моря.

7.34 Коэффициент формы айсберга k_f определяется как отношение объема пустот к полному объему пространства, занимаемому айсбергом. Численные значения коэффициента принимаются по таблице 33. Коэффициент k_f , равный 0,5 соответствует пирамидальной форме надводной и подводной частей айсберга.

Таблица 33

Относительный объем пустот в теле айсберга	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Коэффициент формы айсберга, k_f	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

7.35 Нагрузка от айсберга складывается из двух составляющих – от надводной и подводной частей айсберга – F_u и F_k , МН, соответственно МН.

$$F_i = F_u + F_k. \quad (109)$$

Нагрузка от надводной части F_u , МН, определяется по формуле

$$F_u = 0,8mk_{\mu}k_bk_vR_cbh_u, \quad (110)$$

где b , k_b , k_v , R_c – обозначения те же, что и в 7.8 и 7.4.

Нагрузка от подводной части айсберга F_k , МН определяется по формуле

$$F_k = k_{\mu}k_{cs}(10^{-6}h_k^2\gamma_e + R_{kf}h_k)(1-\mu)b, \quad (111)$$

где μ – коэффициент вязкого трения на поверхности льда, при отсутствии специальных наблюдений следует принимать $\mu=0,5$;

k_{cs} – коэффициент условий подхода, принимаемый по таблице 34 в зависимости от угла подхода айсберга к сооружению, α , град.

Таблица 34

Угол подхода айсберга к сооружению, α , град	< 45	60	75	90
Коэффициент условий подхода, k_{cs}	1	0,9	0,7	0,4

γ_e – плавучесть подводной части айсберга, определяемая по формуле:

$$\gamma_e = (1-\psi)(\rho-\rho_i)g, \quad (112)$$

R_{kf} – прочность киля на сжатие при температуре замерзания, МПа,

ψ – пористость киля айсберга.

Приложение А

Элементы волн на открытых и огражденных акваториях

А.1 Элементы ветра над поверхностью водоемов должны определяться путем численного прогноза на основе результатов статистической обработки барических полей с помощью вероятностного моделирования и с учетом натурных данных, полученных в соответствии с требованиями сводов правил на инженерно-гидрометеорологическим изысканиям для строительства.

А.2 Элементы течений по глубине водоемов должны устанавливаться путем гидродинамического и вероятностного моделирования с учетом элементов приливных и стоковых течений, а также натурных данных, полученных в соответствии с требованиями сводов правил на инженерно-гидрометеорологическим изысканиям для строительства.

А.3 Определение элементов волн на открытых и огражденных акваториях следует проводить на основе материалов А.6 – А.20.

В качестве исходных данных следует использовать карты глубин и данные об элементах ветра, полученных в соответствии с А.1.

Верификация полученных значений элементов волн проводится на основе данных измерений, выполненных в натурных условиях в соответствии с сводов правил на инженерно-гидрометеорологическим изысканиям для строительства.

А.4 Трансформацию волн на течении следует учитывать с помощью апробированных методов расчета.

А.5 Определение характеристик волнения на основе гидродинамического и вероятностного моделирования должно выполняться с использованием спектрально-дискретных или спектрально-параметрических моделей.

Верификацию результатов гидродинамического моделирования рекомендуется проводить по имеющимся данным измерений характеристик волнения в натурных условиях или на физических моделях.

Элементы волн в глубоководной зоне

А.6 Средняя высота $\bar{h}_d$, м, и средний период волн $\bar{T}$, с, в глубоководной зоне должны определяться по расчетной (анемометрической) скорости ветра V_w по верхней огибающей кривой рисунка А.1. По значениям безразмерных параметров gt/V_w и gL/V_w^2 , и верхней огибающей кривой следует определять значения $g\bar{h}_d/V_w^2$ и $g\bar{T}/V_w$ и по меньшему из них принять среднюю высоту и средний период волн.

Длину разгона волны L , м, следует определять по картографическому материалу с учетом направления ветра.

Значения длины предельного разгона L_u , м, принимается по таблице А.1 для заданной расчетной скорости ветра V_w , м.

Т а б л и ц а А.1

Скорость ветра V_w , м/с	20	25	30	40	50
Значения длины предельного разгона $L_u \cdot 10^{-3}$, м	1600	1200	600	200	100

Среднюю длину волн $\bar{\lambda}_d$, м, при известном значении T следует определять по формуле

$$\lambda_d = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}. \quad (\text{A.1})$$

П р и м е ч а н и е – При переменных скоростях ветра вдоль разгона волн следует принимать h_d по результатам последовательного определения высоты волны для участков с постоянными значениями скорости ветра.

А.7 Высоту волны i %-ной обеспеченности в системе h_{di} , м, следует определять умножением средней высоты волн на коэффициент k_i , принимаемый по графикам рисунка А.2 для безразмерной величины gL/V_w^2 . При сложной конфигурации береговой черты значение gL/V_w^2 должно приниматься по величине $g\bar{h}_d/V_w^2$ и верхней огибающей кривой рисунка А.1.

Элементы волн с обеспеченностью по режиму 1; 2; 4 % необходимо принимать по функциям распределения, определяемым по натурным данным.

А.8 При сложной конфигурации подветренной береговой линии средняя высота волн h_d , м, определяется по формуле

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

где $\bar{h}_n$, м, (при $n=1; \pm 2; \pm 3; \pm 4$) – средние высоты волн, которые должны приниматься согласно рисунку А.1 по расчетной скорости ветра V_w 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 $\pm 22,5^\circ$ от главного луча.

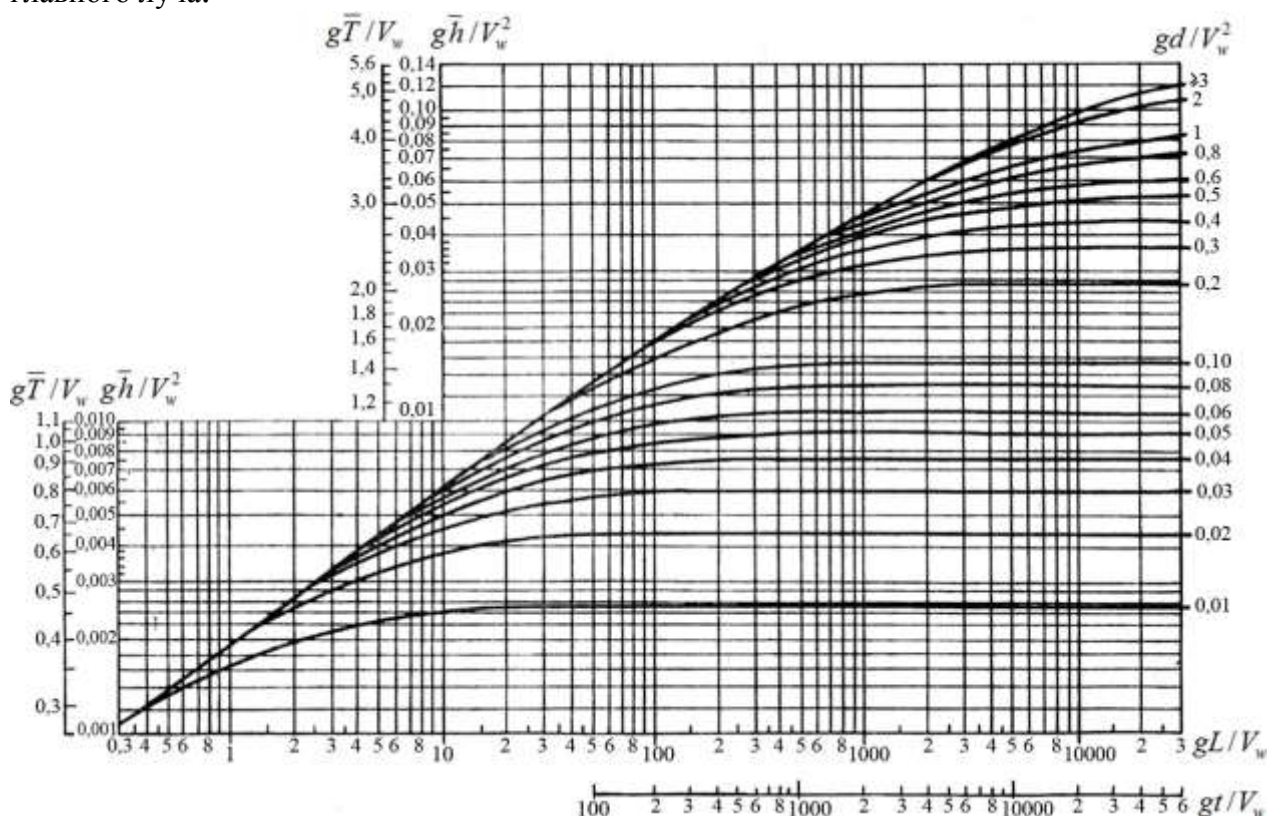


Рисунок А.1 – Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах

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

$$\bar{h}_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_n} \alpha_{ni} \bar{h}_{ni}^2 + \sum_{j=1}^{l_n} \nu_{nj} \bar{h}_{nj}^2}, \quad (\text{A.3})$$

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

Средние высоты волн $\bar{h}_{ni}$, $\bar{h}_{nj}$, м, следует определять по рисунку А.1 по расчетной скорости ветра и разгону L , равным проекциям лучей L_{ni} и L_{nj} , м, на направление ветра. Лучи L_{ni} и L_{nj} равны соответственно расстоянию от расчетной точки до пересечения с i -м препятствием или подветренным берегом в j -м промежутке.

Средний период волн определяется по безразмерному параметру $g\bar{T}/V_w$, который принимается согласно рисунку А.1 при известном значении $g\bar{h}_d/V_w^2$. Среднюю длину волн следует определять по формуле (А.1).

П р и м е ч а н и е – Конфигурация береговой черты принимается сложной, если $L_{\max}/L_{\min} \geq 2$, где $L_{\max}$ и $L_{\min}$ – наибольший и наименьший лучи, проведенные из расчетной точки в секторе $\pm 45^\circ$ от направления ветра до пересечения с подветренным берегом.

А.9 Превышение вершины волны над расчетным уровнем η_c , м, определяется по безразмерному параметру η_c/h_i (рисунок А.3) для данного значения $h_i/g\bar{T}^2$ при $d/\bar{\lambda}_d = 0,5$.

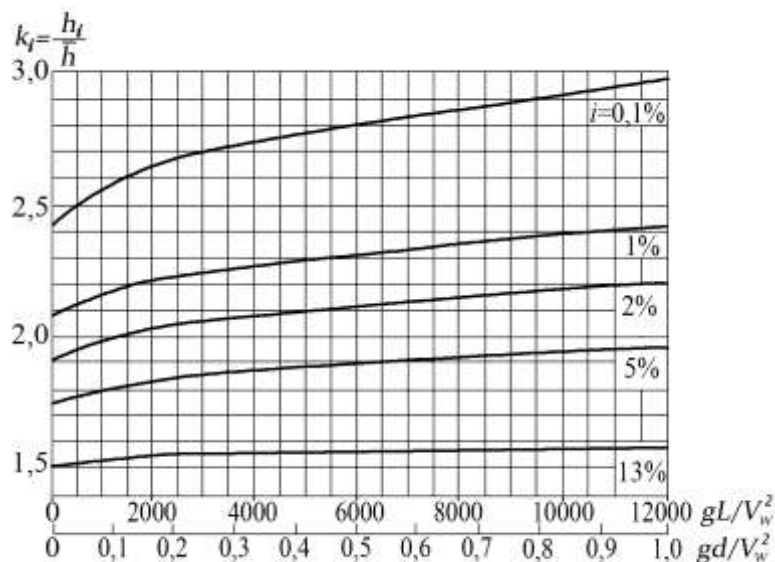


Рисунок А.2 – Графики значений коэффициента k_i

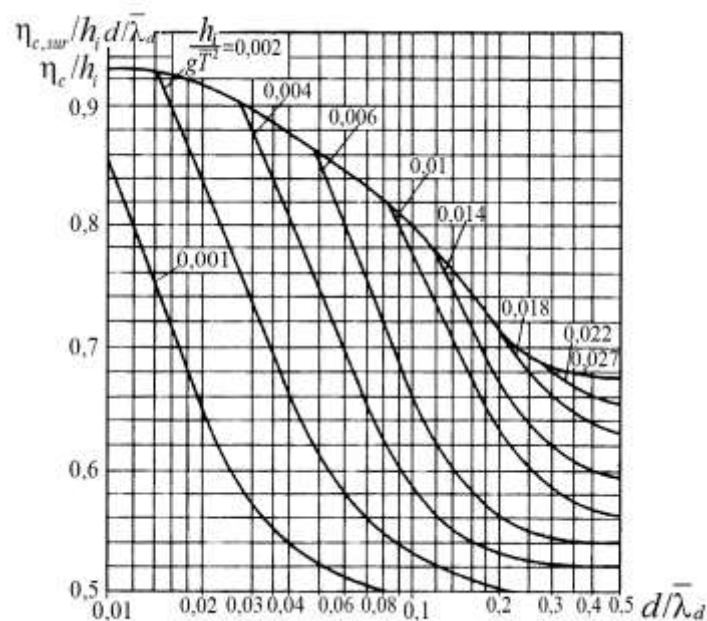


Рисунок А.3 – Графики для определения значений η_c / h_i в мелководной и $\eta_{c,sur} / h_i$ в прибойной зонах

А.10 Период пика спектра T_p для спектральной плотности JONSWAP связан со средним периодом волн соотношением:

$$T_p = \left(\frac{11 + \gamma}{5 + \gamma} \right)^{1/2} \bar{T}$$

где γ - параметр пиковатости спектра JONSWAP.

А.11 Максимальная высота волны h_{max} , м, для шторма длительностью t , с, определяется соотношением

$$h_{max} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\ln N)^{1/2} + 0.29 (\ln N)^{-1/2} \right] h_S$$

где $N = t / \bar{T}$ - среднее число волн за период t , $h_S = h_{13\%}$ - значительная высота волн.

Элементы волн в мелководной зоне

А.12 Высоту волн i %-ной обеспеченности h_i , м, в мелководной зоне с уклонами дна 0,002 и более следует определять по формуле

$$h_i = k_t k_r k_l k_i \bar{h}_d, \quad (\text{А.4})$$

где k_t – коэффициент трансформации;

k_r – коэффициент рефракции;

k_l – обобщенный коэффициент потерь.

k_i – коэффициент обеспеченности волн в системе.

Коэффициенты k_t , k_r и k_l следует определять по А.11.

Длина волн, перемещающихся из глубоководной зоны в мелководную, определяется по рисунку А.4 при заданных значениях безразмерных параметров $d/\bar{\lambda}_d$ и $h_{1\%}/g\bar{T}^2$. Период волн принимается равным периоду волн в глубоководной зоне.

Превышение вершины волны над расчетным уровнем η_c , м, следует определять по рисунку А.3 для данных безразмерных величин $d/\bar{\lambda}_d$ и $h_{1\%}/g\bar{T}^2$.

А.13 Коэффициент трансформации следует принимать по графику 1 рисунка А.5. Коэффициент рефракции должен определяться по формуле

$$k_r = \sqrt{\frac{a_d}{a}}, \quad (\text{А.5})$$

где a_d – расстояние между смежными волновыми лучами в глубоководной зоне, м;

a – расстояние между теми же лучами по линии, проходящей через заданную точку мелководной зоны, м.

Лучи волн на плане рефракции в глубоководной зоне необходимо принимать по заданному направлению распространения волн, а в мелководной зоне их следует продолжать в соответствии со схемой а и графиками б рисунка А.6 согласно штриховой линии со стрелками.

Обобщенный коэффициент потерь k_l должен определяться по заданным значениям параметра $d_{cr}/\bar{\lambda}_d$ и уклону дна i (таблица А.2); при уклонах дна 0,03 и более следует принимать значение обобщенного коэффициента потерь равным единице.

П р и м е ч а н и е – При сложной конфигурации дна и частичной защищенности акватории значение коэффициента k_r следует принимать по результатам определения коэффициентов рефракции для волновых лучей, проводимых из расчетной точки в направлениях через 22,5° от главного луча.

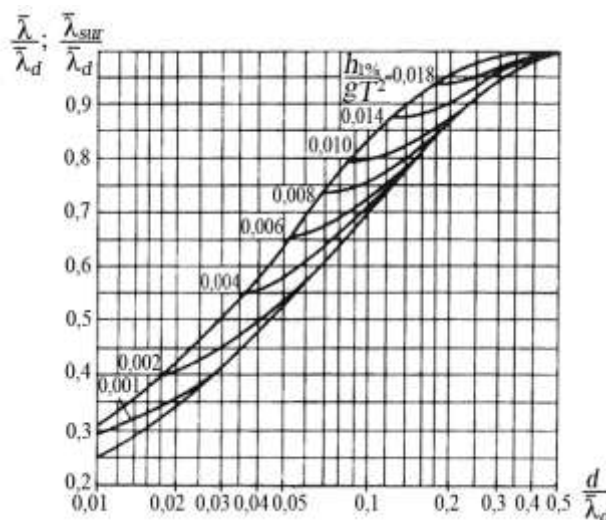
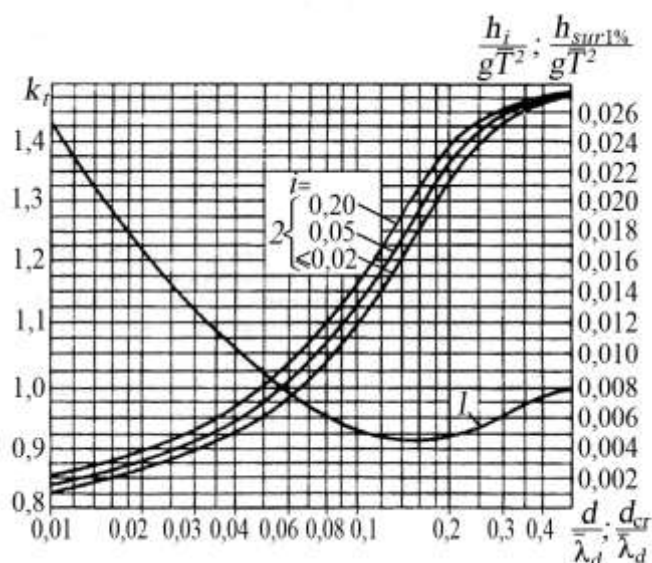


Рисунок А.4 – Графики для определения значений $\bar{\lambda} / \bar{\lambda}_d$ в мелководной и $\bar{\lambda}_{sur} / \bar{\lambda}_d$ в прибойной зонах



**Рисунок А.5 – Графики для определения значений: коэффициента k_i (1)
и параметра $d_{cr} / \bar{\lambda}_d$ (2)**

Т а б л и ц а А.2

Относительная глубина $d_{cr} / \bar{\lambda}_d$	Значения коэффициента k_i 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

А.14 Среднюю высоту и средний период волн в мелководной зоне с уклонами дна 0,001 и менее необходимо определять по графикам рисунка А.1. По безразмерным параметрам gL/V_w^2 и gd/V_w^2 принимаются значения $g\bar{h}/V_w^2$ и $g\bar{T}/V_w$ и по ним определяются $\bar{h}$ и $\bar{T}$.

Высоту волны i %-ной обеспеченности в системе следует определять умножением средней высоты волн на коэффициент k_i , принимаемый по графикам рисунка А.2. По безразмерным параметрам gL/V_w^2 и gd/V_w^2 определяются значения коэффициента k_i , из которых принимается наименьший.

Среднюю длину волн при известном значении среднего периода следует определять в соответствии с А.6.

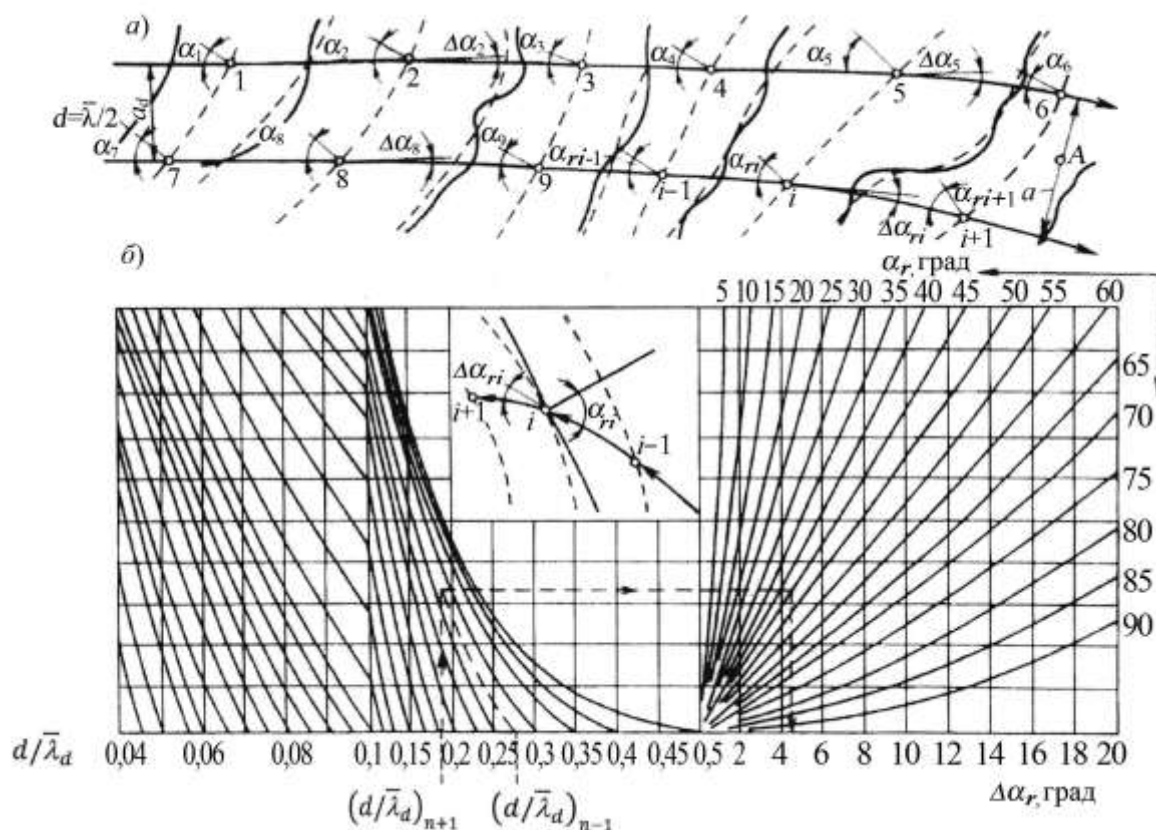


Рисунок А.6 – Схема (а) и графики (б) для построения плана рефракции

Превышение вершины волны над расчетным уровнем должно определяться по рисунку А.3.

Примечание – Элементы волн, перемещающихся из мелководной зоны с уклонами дна 0,001 и менее в зону с уклонами дна 0,002 и более, должны определяться согласно А.10 и А.11, при этом высота исходной средней высоты принимается $\bar{h} = \bar{h}_d$.

А.15 Учет переменных глубин вдоль линии разгона в мелководной зоне при уклонах дна 0.001 и менее производят следующим образом.

Профиль дна вдоль линии разгона, начиная от подветренного берега, разбивают на участки длиной L_j с примерно одинаковым уклоном в пределах каждого участка. В конце первого участка для безразмерных величин gd_j/V_w^2 и gL_j/V_w^2 определяют среднюю высоту волн $\bar{h}_j$ по А.14. На каждом последующем участке по графикам на рис. А.1 для безразмерных величин $\frac{g\bar{h}_{j-1}}{V_w^2}$ и $\frac{gd_j}{V_w^2}$ ($\bar{h}_{j-1}$ - средняя высота волн в начале j -го участка; d_j - глубина воды в конце j -го участка) определяют условный разгон $L_{эKB,j-1}$. Далее в конце j -го участка для безразмерных величин $\frac{gd_j}{V_w^2}$ и $\frac{g(L_j + L_{эKB,j-1})}{V_w^2}$ определяется средняя высота волн $\bar{h}_j$ по рис. А.1. Указанный процесс применяется вдоль всей линии разгона волны.

Элементы волн в прибойной зоне

А.16 Высоту волн в прибойной зоне $h_{sur1\%}$, м, следует определять для заданных уклонов дна i по графикам 2, 3 и 4 рисунка А.5: по безразмерной величине $d_{cr} / \bar{\lambda}_d$ находится значение $h_{sur1\%} / g\bar{T}^2$ и по нему определяется $h_{sur1\%}$.

Длину волны в прибойной зоне $\bar{\lambda}_{sur}$, м, следует определять по верхней огибающей кривой рисунка А.4, превышение вершины волны над расчетным уровнем $\eta_{c,sur}$, – по верхней огибающей кривой рисунка А.3.

А.17 Критическая глубина d_{cr} , м, при первом обрушении волн должна определяться для заданных уклонов дна i по графикам 2, 3 и 4 рисунка А.5 методом последовательных приближений. По ряду задаваемых значений глубин d в соответствии с А.10 и А.11 определяются величины $h_i / g\bar{T}^2$ и по графикам 2, 3 и 4 рисунка А.5 – соответствующие им значения $d_{cr} / \bar{\lambda}_d$, из которых принимается d_{cr} , численно совпадающее с одной из задаваемых глубин d .

А.18 Критическую глубину, соответствующую последнему обрушению волн $d_{cr,u}$ при постоянном уклоне дна, следует определять по формуле

$$d_{cr,u} = k_u^{n-1} d_{cr}, \quad (\text{А.6})$$

где k_u – коэффициент, принимаемый по таблице А.3;

n – число обрушений (включая первое), принимаемое из ряда $n = 2, 3$ и 4 при выполнении неравенств $k_u^{n-2} \geq 0,43$ и $k_u^{n-1} < 0,43$.

При определении глубины последнего обрушения $d_{cr,u}$ коэффициент k_u или произведение коэффициентов не должны приниматься менее 0,35.

При уклонах дна более 0,05 следует принимать значение критической глубины $d_{cr} = d_{cr,u}$.

П р и м е ч а н и е – При переменных уклонах дна глубина $d_{cr,u}$ принимается по результатам последовательного определения критических глубин для участков дна с постоянными уклонами.

Т а б л и ц а А.3

Уклон дна i	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
Коэффициент k_u	0,75	0,63	0,56	0,5	0,45	0,42	0,4	0,37	0,35

Элементы волн на огражденной акватории

А.19 Высоту дифрагированной волны h_{dif} , м, на огражденной акватории следует определять по формуле

$$h_{dif} = k_{dif} h_i, \quad (\text{А.7})$$

где k_{dif} – коэффициент дифракции волн, определяемый согласно А.20, А.21 и А.22;
 h_i – высота исходной волны i %-ной обеспеченности.

В качестве расчетной длины принимается исходная длина $\bar{\lambda}$ на входе в акваторию.

А.20 Коэффициент дифракции волн $k_{dif,s}$ для акватории, огражденной одиночным молом (при заданном значении угла β , град, относительном расстоянии от головы мола до точки в расчетном створе k_{dif} и значении угла φ , град), следует принимать в соответствии со схемой и графиками рисунка А.7 согласно штриховой линии со стрелками.

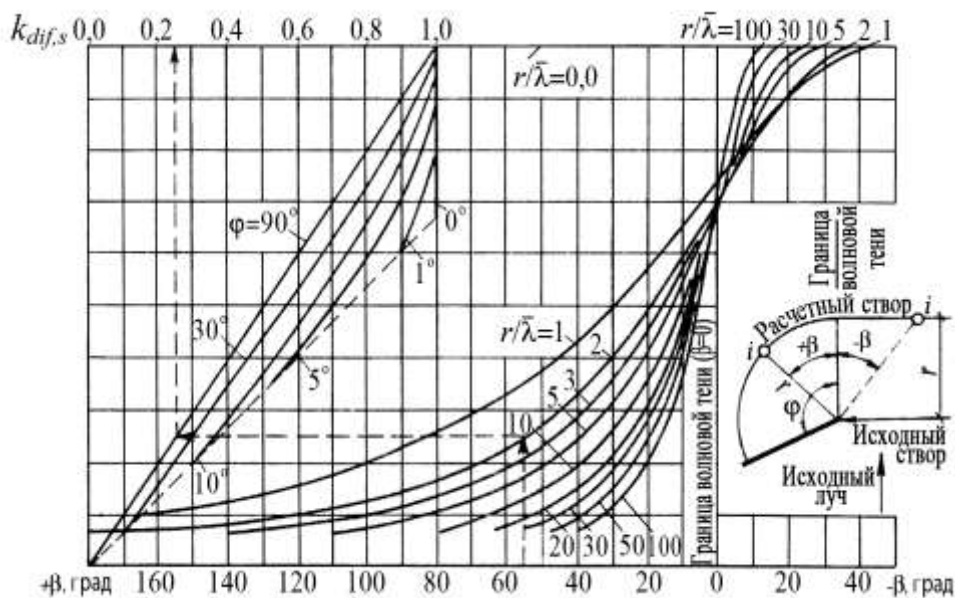


Рисунок А.7 – Графики для определения значений коэффициента $k_{dif,s}$

А.21 Коэффициент дифракции волн $k_{dif,c}$ на акватории, огражденной сходящимися молами, определяется по формуле

$$k_{dif,c} = k_{dif,s} \psi_c, \quad (\text{А.8})$$

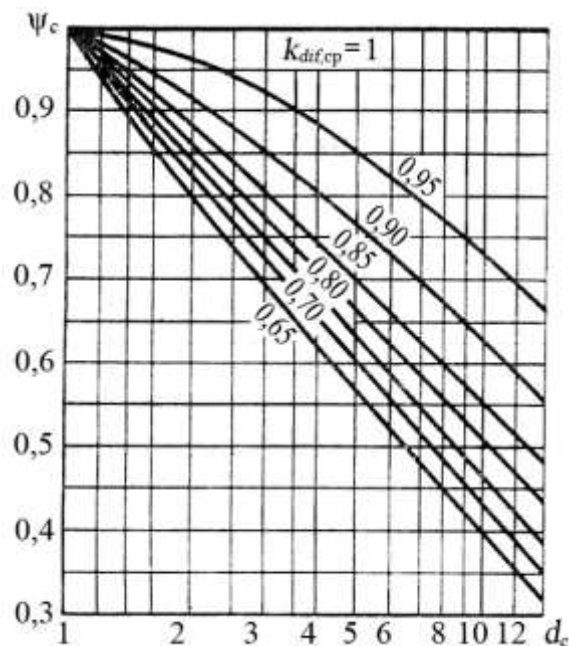
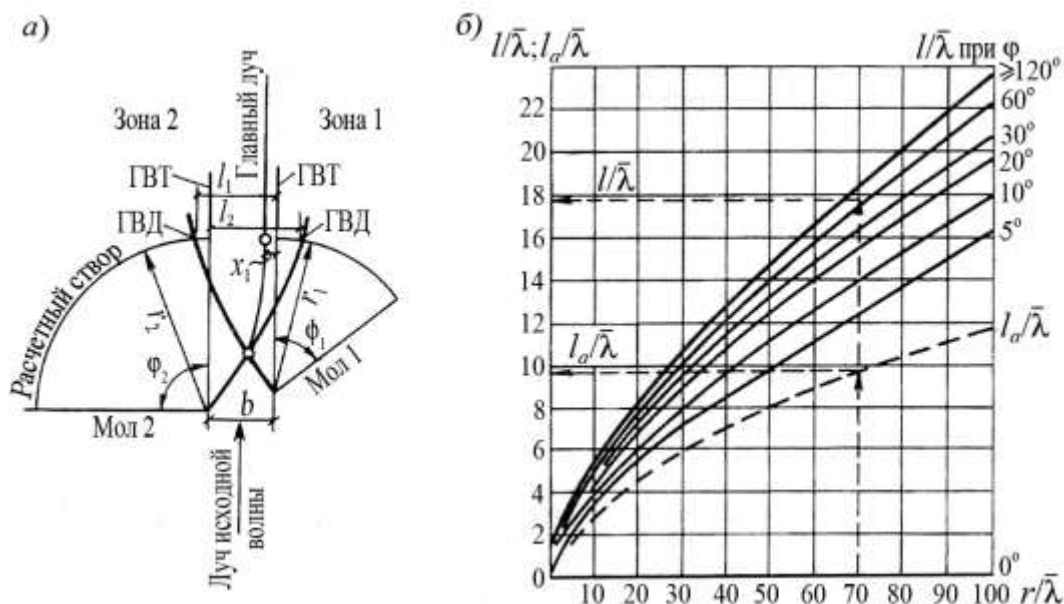
где ψ_c – коэффициент, принимаемый по рисунку А.8 для данных значений d_c и $k_{dif,cp}$.

Значение d_c определяется по формуле

$$d_c = \frac{l_1 + l_2 + b}{2b}, \quad (\text{А.9})$$

где l_1 и l_2 – расстояния от границ волновой тени (ГВТ) до границ дифракции волн (ГДВ), принимаемые в соответствии со схемой и графиками рисунка А.9 согласно штриховой линии со стрелками;

b – ширина входа в порт, м, принимаемая равной проекции расстояния между головами молв на фронт исходной волны.

Рисунок А.8 – Графики значений коэффициента ψ_c Рисунок А.9 – Схема (а) и графики (б) для определения значений l и l_a

Значение коэффициента $k_{dif,ср}$ определяется так же, как и $k_{dif,s}$ согласно А.17 для точки пересечения главного луча с фронтом волн в расчетном створе.

Положение главного луча на схеме рисунка А.9, а необходимо принимать по точкам, расположенным от границы волновой тени (ГВТ) мола с меньшим углом ϕ_i , град, на расстояниях x , м, определяемых по формуле

$$x = \frac{l_1 l_{a1} - l_{a1} (l_2 - b)}{l_{a1} + l_{a2}}, \quad (\text{А.10})$$

где l_{a1} и l_{a2} – величины, принимаемые в соответствии со схемой и графиками рисунка А.9.

А.19 Коэффициент дифракции волн $k_{dif,b}$ для акватории, огражденной волноломом, должен определяться по формуле

$$k_{dif,b} = \sqrt{k_{dif,s1}^2 + k_{dif,s2}^2}, \quad (\text{А.11})$$

где $k_{dif,s1}$ и $k_{dif,s2}$ – коэффициенты дифракции волн, определяемые для головных участков волнолома согласно А.17.

А.22. Высоту дифрагированной волны с учетом отражения ее от сооружений и преград $h_{dif,r}$, м, в данной точке огражденной акватории необходимо определять по формуле

$$h_{dif,r} = (k_{dif} + k_{ref}) h_i, \quad (\text{А.12})$$

где

$$k_{ref} = k_{dif,s} k_r k_p k_{ref,i} \sqrt{\cos \theta_r e^{-0,08r/\lambda}}, \quad (\text{А.13})$$

$k_{dif,s}$ – коэффициент дифракции в створе отражающей поверхности, определяемый согласно А.20, А.21 и А.22;

k_r и k_p – коэффициенты, определяемые по данным таблицы Д.1 приложения Д;

θ_r – угол между фронтом волны и отражающей поверхностью, град;

r/λ – относительное расстояние от отражающей поверхности до расчетной точки по лучу отраженной волны, при этом направление луча отраженной волны должно приниматься из условия равенства углов подхода и отражения волн;

$k_{ref,i}$ – коэффициент отражения, принимаемый по таблице А.4; при угле наклона отражающей поверхности к горизонту более 45° следует принимать коэффициент отражения $k_{ref,i} = 1$.

П р и м е ч а н и е – Высоту волны на огражденной акватории с меняющимися глубинами следует уточнять согласно А.12 и А.13.

Т а б л и ц а А.4

Пологость волны λ/h_{dif}	Значения $k_{ref,i}$ при уклонах отражающей поверхности i		
	1	0,5	0,25
10	0,5	0,02	0,0
15	0,8	0,15	0,0
20	1	0,5	0,0
30	1	0,7	0,05
40	1	0,9	0,18

Приложение Б

Определение высоты ветрового нагона

Б.1 Высота ветрового нагона Δh_{set} , м, при постоянной глубине d акватории и без учета конфигурации береговой линии определяется по формуле

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L}{g(d + 0,5\Delta h_{set})} \cos \alpha_w, \quad (\text{Б.1})$$

или

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

где α_w – угол между продольной осью водоема и направлением ветра, град;

V_w – расчетная скорость ветра, м²/с;

L – длина разгона, м;

k_w – коэффициент, принимаемый по формуле

$$k_w = 3 \left(1 + 0,0138 \frac{V_w}{\sqrt[3]{gv}} \right) 10^{-7}, \quad (\text{Б.2})$$

v – коэффициент кинематический вязкости воздуха; при $g=9,81$ м/с² и $v=10^{-5}$ м²/с;

$$k_w = 3(1 + 0,3V_w) 10^{-7}. \quad (\text{Б.2a})$$

Б.2 Высота волнового нагона Δh_{wav} , м в прибойной зоне определяется по формуле, рекомендуемой [1]

$$\Delta h_{wav} = \frac{13,7}{g} \left(\frac{h_{sur}}{\bar{T}} \right)^2, \quad (\text{Б.3})$$

где h_{sur} – расчетная высота волны по линии первого обрушения, м;

$\bar{T}$ – средний период волны.

Имеются указания, что поскольку параметры волн ограничиваются предельно возможной их крутизной $h/\lambda \approx 0,1$, высота ветрового нагона Δh_{wav} имеет предел $\approx 1,8$ м.

Приложение В

Оценка устойчивости грунта, подверженного гидродинамическому воздействию (волны, течение)

В.1 Устойчивость грунта, слагающего дно акватории вблизи сооружения, подверженного волновому воздействию, оценивается сравнением придонной максимальной скорости $V_{b,max}$ (5.18, 5.20, 5.32) или $V_{f,max}$ (5.19) со значением допускаемой придонной скорости $V_{b,adm}$.

Значение $V_{b,adm}$, м/с, для грунта крупностью фракций $D \leq 100$ мм следует принимать по рисунку В.1, а для грунта крупностью $D > 100$ мм – по формуле

$$V_{b,adm} = 1,4 \sqrt{gD \frac{\rho_m - \rho}{\rho}}, \quad (B.1)$$

где ρ_m – плотность материала грунта, т/м³;

ρ – плотность воды, т/м³.

При $V_{b,max} > V_{b,adm}$ или $V_{f,max} > V_{b,adm}$ следует учитывать возможность размыва дна акватории у основания сооружения и при необходимости предусматривать мероприятия по защите от размыва и подмыва основания сооружения.

В.2 При назначении крупности крепления камнем дна акватории или поверхности насыпей (берм) следует производить проверку устойчивости материала крепления по зависимостям В.1.

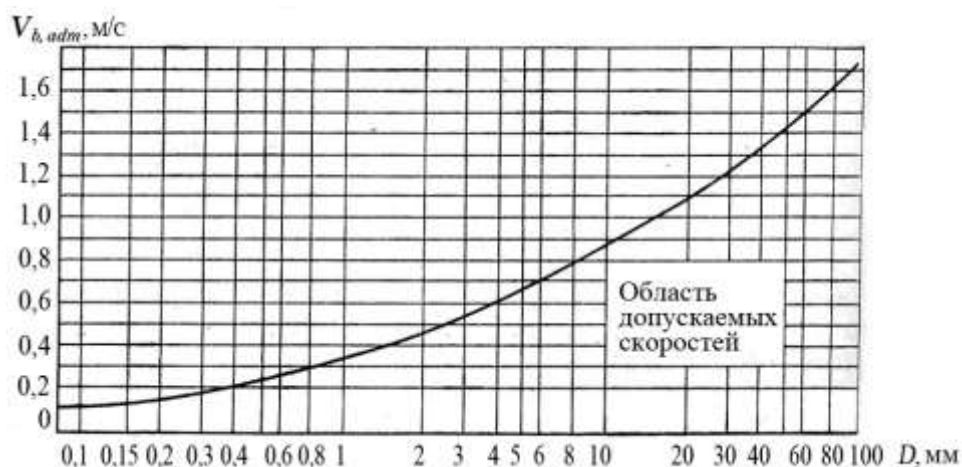


Рисунок В.1 – График допускаемых значений скоростей

В.3 При креплении откосов, подверженных волновому воздействию, каменной наброской (горной массой), обыкновенными и фасонными бетонными и железобетонными блоками расчетную массу отдельного элемента m или m_z , т, следует определять:

при расположении камня или блока на участке откоса от верха сооружения до глубины $z = 0,7h$ по формуле

$$m = \frac{3,16k_{fr}\rho_m h^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)^3 \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^3 \varphi}} \sqrt{\frac{\lambda}{h}}; \quad (B.2)$$

то же при $z > 0,7h$ по формуле

$$m_z = me^{-\left(\frac{7,5z^2}{h\bar{\lambda}}\right)}. \quad (\text{B.3})$$

где k_{fr} – коэффициент, принимаемый по таблице В.1; при $\bar{\lambda}/h > 15$, а также при сложном профиле численное значение коэффициента k_{fr} следует уточнять по данным опытов;

ρ_m – плотность материала крепления, т/м³.

Т а б л и ц а В.1

Элементы крепления	Коэффициент k_{fr}	
	при наброске	при укладке
Камень	0,025	–
Обыкновенные бетонные блоки	0,021	–
Тетраподы и другие фасонные блоки	0,008	0,006

В.4 Крепление откосов несортированной каменной наброской (горной массой) выполняется при высоте волны не более 3,0 м, если пологость откоса $\text{ctg}\varphi \leq 5$, и не более 3,5 м при $\text{ctg}\varphi > 5$. Несортированную каменную наброску следует считать пригодной для крепления откоса, если она характеризуется значениями коэффициента k_{gr} зернового состава, соответствующими заштрихованной зоне на рисунке В.2.

Значение коэффициента k_{gr} должно определяться для каждой фракции наброски по формуле

$$k_{gr} = \sqrt[3]{\frac{m_i}{m}} = \frac{D_i}{D}, \quad (\text{B.4})$$

где m – расчетная масса, т, камня крепления;

m_i – средняя масса, т, камня i -й фракции наброски;

D и D_i – приведенные диаметры, м, элементов каменной наброски, т.е. диаметры шара, объем которого равен среднестатистическому объему частиц массой соответственно m и m_i ;

$$D = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho_m}} \text{ и } D_i = \sqrt[3]{\frac{6m_i}{\pi\rho_m}}. \quad (\text{B.5})$$

При откосах, пологость которых находится в пределах $3 \leq \text{ctg}\varphi < 5$, расчетное значение массы m следует определять по формулам (В.2) и (В.3).

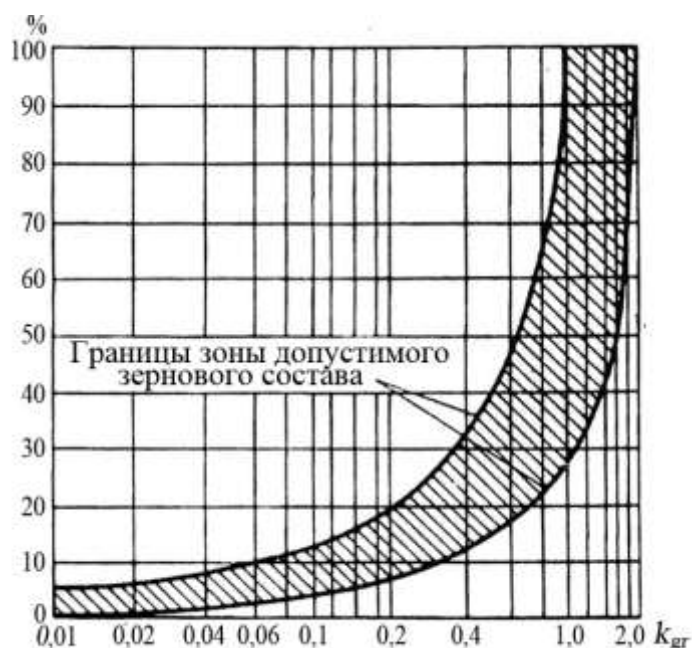


Рисунок В.2 – График для определения допустимого зернового состава несортированной каменной наброски для крепления откосов

В.5 При пологости откосов $5 \leq \text{ctg}\varphi \leq 15$, укрепляемых несортированной разнозернистой каменной наброской, расчетную массу камня m , т, соответствующую состоянию его предельного равновесия от действия ветровых волн, необходимо определять по формуле (В.2) при $\bar{\lambda}/h \geq 10$ с умножением полученных результатов на коэффициент $k_\varphi = \left(\frac{5}{\text{ctg}\varphi} \right)^{1,45}$.

Минимальное содержание фракций размером $D_i \geq D$ должно приниматься в соответствии с таблицей В.2.

В.6 При пологости откосов $\text{ctg}\varphi < 3$, укрепляемых несортированной разнозернистой каменной наброской, расчетную массу камня m , т, необходимо определять на основе экспериментальных исследований.

Т а б л и ц а В.2

Коэффициент разнозернистости D_{60}/D_{10}	5	10	20	40–100
Минимальное содержание, % (по весу), фракций с размером $D_i \geq D$	50	30	25	20

В.7 При совместном воздействии волн и течений, совпадающих по направлению, суммарное среднее по времени значение касательного напряжения на поверхность дна необходимо определять по формуле (при $\tau_c > 0,8\bar{\tau}_w$):

$$\bar{\tau}_{cw} = \tau_c + \bar{\tau}_w; \quad \tau_c = \rho g \frac{U^2}{C^2}, \quad (\text{В.6})$$

где τ_c – касательное напряжение на дно от воздействия течения, кПа;

$\bar{\tau}_w$ – среднее по времени касательное напряжение от воздействия волн, кПа (см. 5.18, формула (4));

U – средняя по глубине скорость течения, м/с;

C – коэффициент Шези, $\text{м}^{1/2}/\text{с}$.

При наличии угла между направлением волн и течения суммарное среднее по времени касательное напряжение на поверхность дна должно вычисляться как векторная сумма касательных напряжений от волн и течений с учетом направлений.

В.8 При проектировании статических и /или динамически устойчивых креплений дна у обтекаемых преград с помощью каменной наброски в случае совместного воздействия волн и течений ($\tau_c > 0,8\bar{\tau}_w$) применяется концепция критических касательных напряжений, согласно которой крупность защитного слоя D_{50} , м, определяется из условия

$$\psi_{cr} = \frac{\bar{\tau}_{cw}}{(\rho_m - \rho)gD_{50}}, \quad (\text{В.7})$$

где ψ_{cr} – критическое значение числа Шильдса. При проектировании *статически устойчивой* защиты от размывов, для которой ее возможные деформации затрагивают верхний слой защитного камня на глубину не более чем D_{50} значения ψ_{cr} принимается в диапазоне 0,03–0,035.

При устройстве вблизи обтекаемых преград (сооружений) *динамически устойчивого* крепления, которое может деформироваться на большую, чем D_{50} , глубину, не теряя при этом своей основной функции – защиты дна от размывов в течение заданного срока службы сооружения, значение ψ_{cr} следует принимать равным 0,05–0,055. Кроме того, должны дополнительно разрабатываться критерии допустимой деформации крепления, превышение которой приводит к отказу – нарушению его защитных свойств.

В.9 При выполнении экспериментальных исследований креплений дна у обтекаемых преград следует обеспечить: воспроизведение нерегулярного волнения с заданным спектром; правильный учет масштабных эффектов.

Приложение Г

Определение волновой нагрузки на вертикальные стены

Г.1 При действии стоячей волны на вертикальную стену необходимо предусматривать (5.14) три случая определения возвышения или понижения свободной волновой поверхности η , м, у вертикальной стены:

а) $\eta_{\max} = k_{\eta 1} h$ – при наибольшем значении отметки волновой поверхности у стены;

б) $\eta_c = k_{\eta 2} h$ – при максимальном значении горизонтальной волновой нагрузки P_{xc} , кН/м, на стену;

в) $\eta_t = -k_{\eta 3} h$ – при наименьшем значении отметки волновой поверхности у стены.

Численные значения входящих коэффициентов $k_{\eta 1}$, $k_{\eta 2}$, $k_{\eta 3}$ определяются по графикам рисунок Г.1.

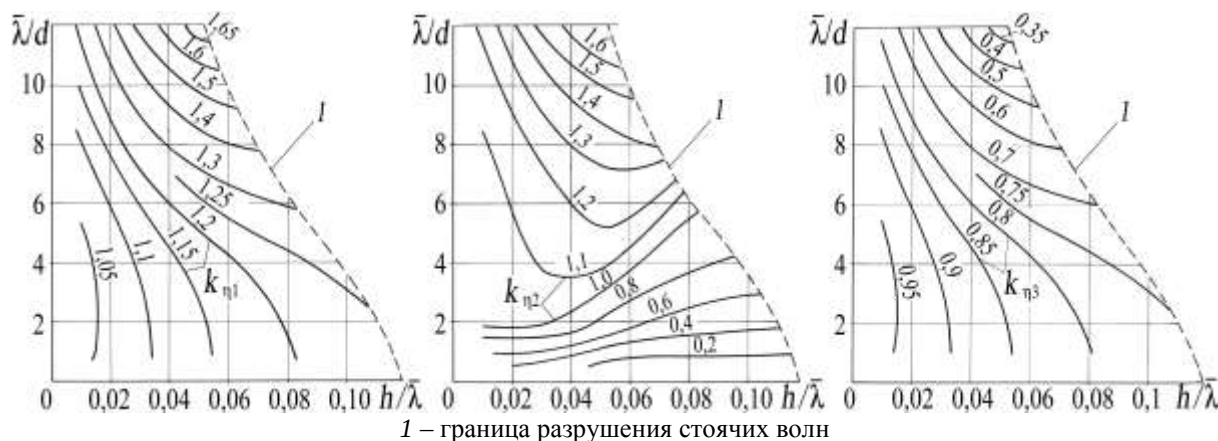


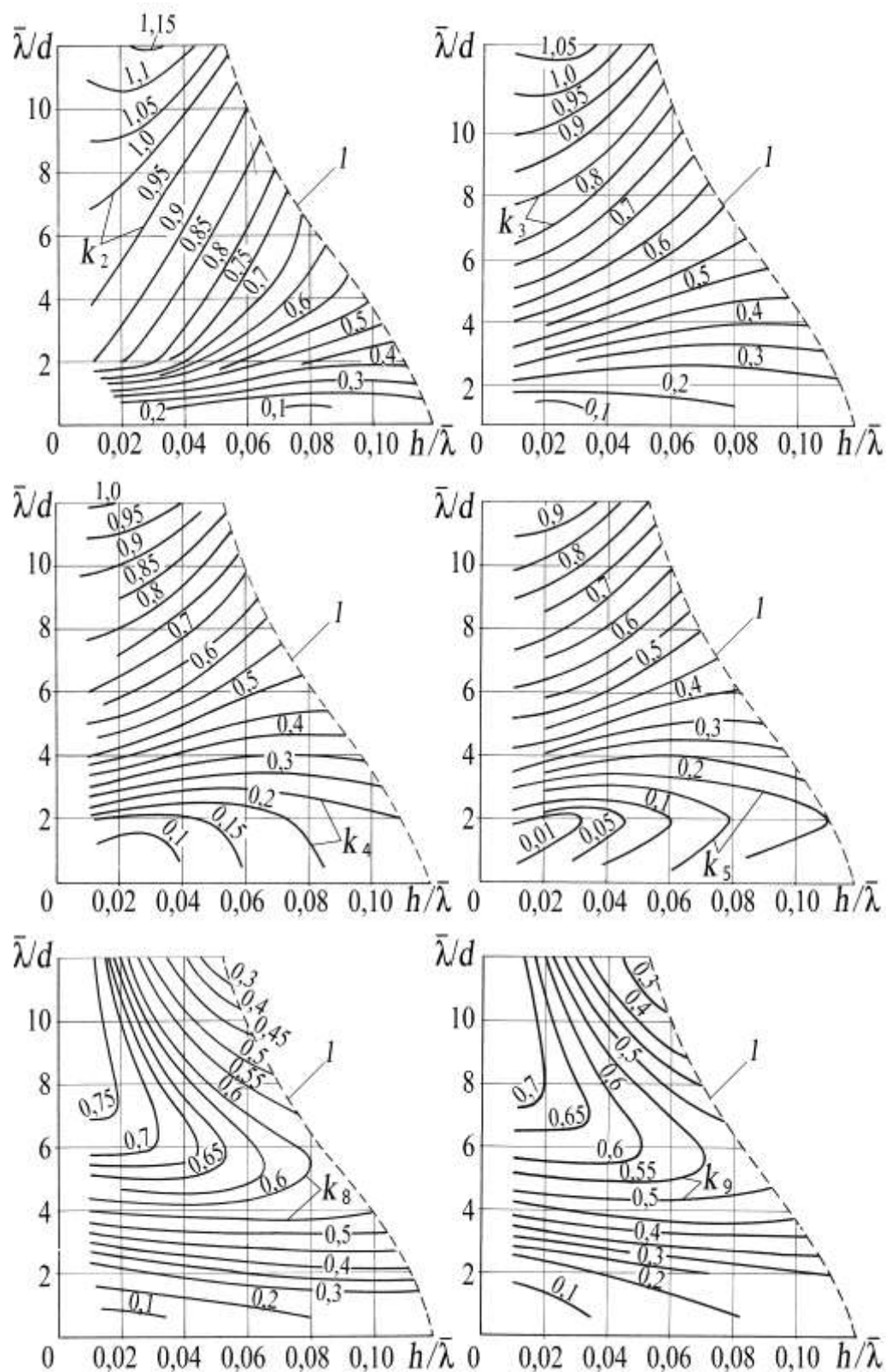
Рисунок Г.1 – Графики значений коэффициентов $k_{\eta 1}$, $k_{\eta 2}$ и $k_{\eta 3}$

Г.2 Горизонтальную нагрузку на вертикальную стену P_x кН/м, при воздействии стоячей волны для случаев «б» и «в», указанных в Г.1, следует принимать по эпюре волнового давления; при этом ординаты эпюры волнового давления p , кПа, на глубине z , м, следует определять по формулам таблицы Г.1, а численные значения входящих в них коэффициентов k_2 , k_3 , k_4 , k_5 , k_8 и k_9 по графикам (рисунок Г.2.)

Г.3 Волновое давление p , кПа, на вертикальную стену с возвышением над расчетным уровнем верха сооружения z_{sup} , м, менее чем на $\eta_{\max}$, м, следует определять согласно Г.2 с последующим умножением полученных значений давления на коэффициент k_c , определяемый по формуле

$$k_c = 0,76 \pm 0,19 \frac{z_{\text{sup}}}{h}, \quad (\text{Г.1})$$

где знаки «плюс» и «минус» соответствуют положению верха сооружения выше или ниже расчетного уровня воды.



1 – граница разрушения стоячих волн

Рисунок Г.2 – Графики значений коэффициентов k_2 , k_3 , k_4 , k_5 , k_8 и k_9

Т а б л и ц а Г.1

№ точки	Заглубление точек z , м	Значение волнового давления p , кПа
Отметка волновой поверхности η_c		
1	η_c	$p_1 = 0$
2	0	$p_2 = k_2 p g h$
3	0,25	$p_3 = k_3 p g h$
4	0,5	$p_4 = k_4 p g h$
5	d	$p_5 = k_5 p g h$
Отметка волновой поверхности η_t		
6	0	$p_6 = 0$
7	η_t	$p_7 = -\rho g \eta_t$
8	0,5	$p_8 = k_8 p g h$
9	d	$p_9 = k_9 p g h$

Возвышение или понижение свободной волновой поверхности η определенное по Г.1, следует также умножать на коэффициент k_c .

Горизонтальная линейная волновая нагрузка P_{xc} , кН/м, в рассматриваемом случае должна определяться по площади эпюры волнового давления в пределах высоты вертикальной стены.

Г.4 Горизонтальную нагрузку от дифрагированных волн со стороны огражденной акватории следует определять при относительной длине секции сооружения $l/\bar{\lambda} \leq 0,8$; при этом расчетную эпюру волнового давления со значениями p , кПа, допускается выполнять по трем точкам, рассматривая следующие случаи:

а) вершина волны совмещена с серединой секции сооружения (5.16, рисунок 4,а):

$$z_1 = \eta_{\max} = -\frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh_{dif}^2}{8} \operatorname{cth} kd, \quad p_1 = 0; \quad (\text{Г.2})$$

$$z_2 = 0, \quad p_2 = k_l p g \left(\frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh_{dif}^2}{8} \operatorname{cth} kd \right); \quad (\text{Г.3})$$

$$z_3 = d_f, \quad p_3 = k_l p g \left(\frac{h_{dif}}{2 \operatorname{ch} kd} - \frac{kh_{dif}^2}{4 \operatorname{sh} 2kd} \right); \quad (\text{Г.4})$$

б) подошва волны совмещена с серединой секции сооружения (5.15, рисунок 5,б):

$$z_1 = 0, \quad p_1 = 0; \quad (\text{Г.5})$$

$$z_2 = \eta_1 = \frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh_{dif}^2}{8} \operatorname{cth} kd, \quad p_2 = -k_l p g \eta_1; \quad (\text{Г.6})$$

$$z_3 = d_f, \quad p_3 = -k_l p g \left(\frac{h_{dif}}{2 \operatorname{ch} kd} + \frac{kh_{dif}^2}{4 \operatorname{sh} 2kd} \right), \quad (\text{Г.7})$$

где h_{dif} – высота дифрагированной волны, м, определяемая согласно приложению А;
 k_l – коэффициент, принимаемый по таблице Г.2

Т а б л и ц а Г.2

Относительная длина секции $l/\bar{\lambda}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Коэффициент k_l	0,98	0,92	0,85	0,76	0,64	0,51	0,38	0,26
П р и м е ч а н и е – При глубине со стороны огражденной акватории $d \geq 0,3\bar{\lambda}$ следует строить треугольную эпюру волнового давления, принимая на глубине $z_3 = 0,3\bar{\lambda}$ волновое давление равным нулю (5.16, рисунок. 5).								

Г.5 Эпюра взвешивающего волнового давления на берменные массивы должна приниматься трапецидальной (5.13, рисунок 2,б) с ординатами $p_{br,i}$, кПа, определяемыми (при $i=1, 2$ или 3) по формуле

$$p_{br,i} = k_{br} pgh \frac{\operatorname{ch}k(d - d_f)}{\operatorname{ch}kd} \cos kx_i \leq p_f, \quad (\text{Г.8})$$

где x_i – расстояние от стены до соответствующей грани массива, м;

k_{br} – коэффициент, принимаемый по таблице Г.3;

p_f – волновое давление на уровне подошвы сооружения.

Т а б л и ц а Г.3

Относительная глубина $d/\bar{\lambda}$	Коэффициент k_{br} при пологостях волн $\bar{\lambda}/h$	
	15 и менее	20 и более
Менее 0,27	0,86	0,64
От 0,27 до 0,32	0,6	0,44
Более 0,32	0,3	0,3

Приложение Д

Определение высоты наката волн на откос

Д.1 Высоту наката волн на откос h_{run} , м, рекомендуется определять по формуле

$$h_{run} = k_r k_p k_{sp} k_{run} k_i k_\alpha h_{1\%}, \quad (Д.1)$$

где $h_{1\%}$ – высота волн обеспеченностью 1 % в системе;

k_r, k_p – коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса, принимаемые по таблице Д.1;

k_{sp} – коэффициент, принимаемый по таблице Д.2;

k_{run} – коэффициент, зависящий от глубины воды d перед сооружением и пологости волны $\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$ и принимаемый по графикам рисунка Д.1. Значения параметра $\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$, указанные без скобок, относятся к случаю $d_h \geq 2h_{1\%}$. При глубине перед сооружением $d < 2h_{1\%}$, коэффициент k_{run} следует принимать по значению $\bar{\lambda}_d$, соответствующему глубине $d = 2h_{1\%}$ при значениях параметра $\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$, указанному на рисунке Д.1 в скобках.

k_i – коэффициент обеспеченности по накату, принимаемый по таблице Д.3;

k_α – коэффициент, принимаемый по таблице Д.4 в зависимости от угла α между урезом воды и фронтом волны.

П р и м е ч а н и е – При определении высоты наката волн на песчаные и гравийно-галечниковые пляжи необходимо учитывать изменение уклона пляжа во время шторма. Наибольшее понижение пляжа на линии уреза воды следует принимать равным $0,3h$, м, с выклиниванием на нулевые значения на берегу до высоты наибольшего наката, а в подводной части до глубины $d = d_{cr}$, м, для размываемых грунтов или на глубине $d = d_{cr,u}$, м, – для неразмываемых грунтов (где h , d_{cr} и $d_{cr,u}$ – соответственно высота волны и глубина воды в створах первого и последнего обрушений, м).

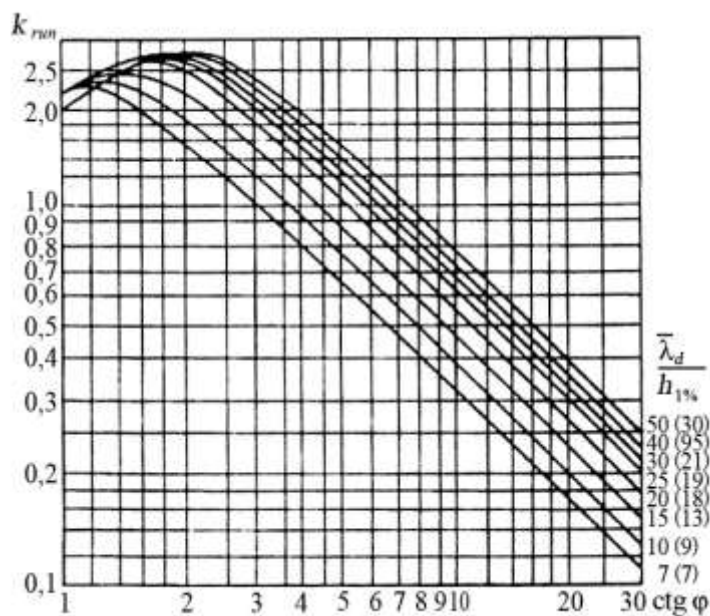


Рисунок Д.1 – Графики значений коэффициента k_{run}

Т а б л и ц а Д.1

Конструкция крепления откоса	Относительная шероховатость r/h_1 %	Коэффициент k_r	Коэффициент k_p
Бетонные (железобетонные) плиты	—	1	0,9
Гравийно-галечниковое или каменное покрытие, бетонные (железобетонные) блоки	Менее 0,002	1	0,9
	0,005–0,01	0,95	0,85
	0,02	0,9	0,8
	0,05	0,8	0,7
	0,1	0,75	0,6
	Более 0,2	0,7	0,5
П р и м е ч а н и е – Характерный размер шероховатости r , м, следует принимать равным среднему диаметру зерен материала крепления откоса или среднему размеру бетонных (железобетонных) блоков.			

Т а б л и ц а Д.2

Значение $\text{ctg}\varphi$	1–2	3–5	более 5
Коэффициент k_{sp} при скорости ветра V_w , м/с:			
20 и более	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
5 и менее	1	0,8	0,6
Обозначение: φ – угол наклона откоса к горизонту, град.			

Т а б л и ц а Д.3

Обеспеченность по навету i , %	0,1	1	2	5	10	30	50
Коэффициент k_i	1,1	1	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

Т а б л и ц а Д.4

Значение угла α , град	0	10	20	30	40	50	60
Коэффициент k_α	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

Д.2 Волновое давление на откос при $1,5 \leq \text{ctg}\varphi \leq 5$, укрепленный монолитными или сборными плитами, определяется эпюрой (рисунок Д.2), в которой максимальное расчетное волновое давление p_d , кПа, равно

$$p_d = k_s k_f p_{rel} \rho g h, \quad (\text{Д.2})$$

где k_s и k_f – коэффициенты, зависящие от пологости волны $\bar{\lambda}/h$ и угла заложения откоса φ :

$$k_s = 0,85 + 4,8 \frac{h}{\bar{\lambda}} + \text{ctg}\varphi \left(0,028 - 1,15 \frac{h}{\bar{\lambda}} \right), \quad (\text{Д.3})$$

$$k_f = 1 + 0,092 \sqrt{\frac{\bar{\lambda}}{h}} - 10, \quad (\text{Д.4})$$

p_{rel} – максимальное относительное волновое давление в точке 2 (рисунок Д.2), принимаемое при $h < 4$ м по зависимости (h , м)

$$p_{rel} = \left(\frac{20}{h} \right)^{1/3}, \quad (Д.5)$$

при $h \geq 4$ м $p_{rel} = 1,7$.

Ордината z_2 , м, точки 2 приложения максимального расчетного волнового давления p_d определяется по формуле

$$z_2 = A + \frac{1}{\operatorname{ctg}^2 \varphi} \left(1 - \sqrt{2 \operatorname{ctg}^2 \varphi + 1} \right) (A + B), \quad (Д.6)$$

где A и B – параметры, м, значения которых определяются по зависимостям:

$$A = h \left(0,47 + 0,023 \frac{\bar{\lambda}}{h} \right) \frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \varphi}{\operatorname{ctg}^2 \varphi}; \quad (Д.7)$$

$$B = h \left[0,95 - (0,84 \operatorname{ctg} \varphi - 0,25) \frac{h}{\bar{\lambda}} \right]. \quad (Д.8)$$

Ордината z_3 , м, соответствующая высоте наката волн на откос, принимается согласно Д.1.

На участках крепления по откосу выше и ниже точки 2 (см. рисунок Д.2) значения ординат эпюры волнового давления p , кПа, принимаются на расстояниях, м:

при $l_1 = 0,0125 L_\varphi$ и $l_3 = 0,0265 L_\varphi$ $p = 0,4 p_d$;

при $l_2 = 0,0325 L_\varphi$ и $l_4 = 0,0675 L_\varphi$ $p = 0,1 p_d$,

где

$$L_\varphi = \frac{\bar{\lambda} \operatorname{ctg} \varphi}{\sqrt[4]{\operatorname{ctg}^2 \varphi - 1}}. \quad (Д.9)$$

Ординаты эпюры волнового противодавления p_c , кПа, на плиты крепления откосов определяются по формуле

$$p_c = k_s k_f p_{c,rel} \rho g h, \quad (Д.10)$$

где $p_{c,rel}$ – относительное волновое противодавление, принимаемое по графикам рисунка Д.3.

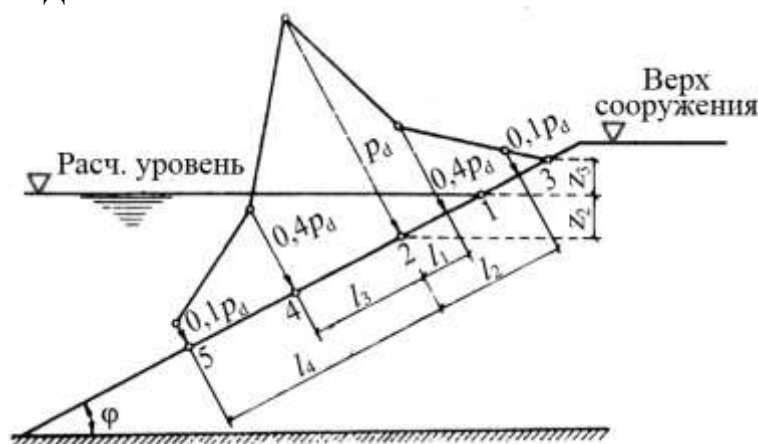


Рисунок Д.2 – Эпюра максимального расчетного волнового давления на откос, укрепленный плитами

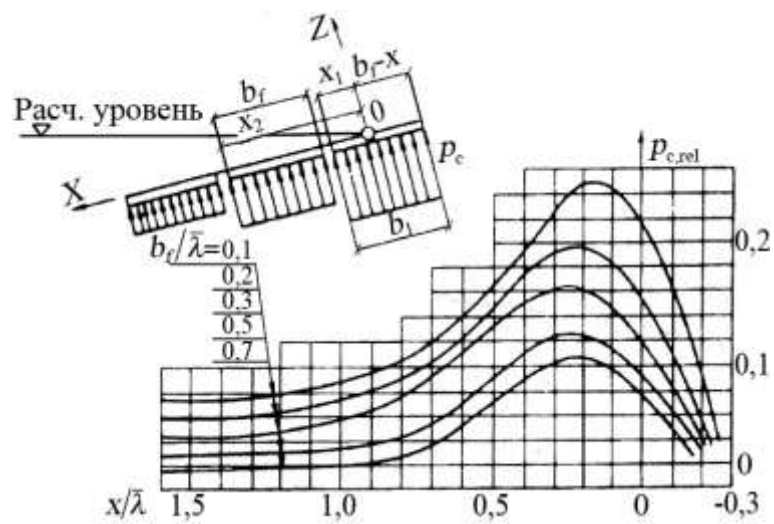


Рисунок Д.3 – Графики для определения относительного волнового сопротивления

Приложение Е

Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения

Нагрузки от волн на вертикальную обтекаемую преграду

Е.1 Максимальная сила воздействия волн $Q_{\max}$, кН, на вертикальную обтекаемую преграду с поперечными размерами $a \leq 0,4\lambda$ и $b \leq 0,4\lambda$ (рисунок 8,а) при глубине $d > d_{cr}$ определяется из ряда значений, получаемых при различных удалениях $\alpha = x/\lambda$ вершины волны от преграды, по формуле

$$Q_{\max} = Q_{i,\max} \delta_i + Q_{v,\max} \delta_v, \quad (E.1)$$

где $Q_{i,\max}$ и $Q_{v,\max}$ – соответственно инерционный и скоростной компоненты силы воздействия волн, кН:

$$Q_{i,\max} = \frac{1}{4} \rho g \pi b^2 h k_v \alpha_i \beta_i, \quad (E.2)$$

$$Q_{v,\max} = \frac{1}{12} \rho g b h^2 k_v^2 \alpha_v \beta_v, \quad (E.3)$$

δ_i и δ_v – коэффициенты сочетания инерционного и скоростного компонентов максимальной силы от воздействия волн, принимаемые соответственно по графикам 1 и 2 рисунка Е.1;

h и λ – высота и длина расчетной волны;

a – размер преграды по лучу волны, м;

b – размер преграды по фронту волны, м;

k_v – коэффициент перехода от действительных значений скорости и ускорения волнового потока, воздействующего на преграду, к их средним значениям (таблице Е.1);

α_i и α_v – инерционный и скоростной коэффициенты глубины, принимаемые соответственно по графикам а и б рисунка Е.2;

β_i и β_v – инерционный и скоростной коэффициенты формы преграды с поперечным сечением в виде круга, эллипса и прямоугольника, принимаемые по графикам рисунка Е.3.

П р и м е ч а н и я:

1 Расчет сквозных сооружений или отдельно стоящих обтекаемых преград на нагрузки от волн должен производиться с учетом шероховатости их поверхности. При наличии опытных данных по влиянию коррозии и морских обрастаний на сопротивление обтекаемых преград коэффициенты формы определяются по формулам:

$$\beta_i = \frac{a}{2b} C_i, \quad (E.4)$$

$$\beta_v = C_v, \quad (E.5)$$

где C_i и C_v – уточненные опытные значения коэффициентов инерционного и скоростного сопротивлений.

2 При подходе волн под углом к обтекаемой преграде (в виде эллипса или прямоугольника) коэффициенты формы определяются интерполяцией между их значениями по главным осям.

3 Максимальная сила воздействия волн $Q_{\max}$, кН, на вертикальную обтекаемую преграду при значении $\frac{Q_{i,\max}}{Q_{v,\max}} \geq 2$ принимается $Q_{\max} = Q_{i,\max}$, а при значении $\frac{Q_{i,\max}}{Q_{v,\max}} \leq 0,2$ – $Q_{\max} = Q_{v,\max}$. В других случаях $Q_{\max}$ следует определять из ряда значений, полученных по формуле (Е.1) при различных α .

Т а б л и ц а Е.1

Относительный размер преграды $a/\lambda, b/\lambda, D/\lambda$	00,05	00,1	00,15	00,2	00,25	00,3	00,4
Коэффициент k_v	11	00,97	00,93	00,86	00,79	00,7	00,52

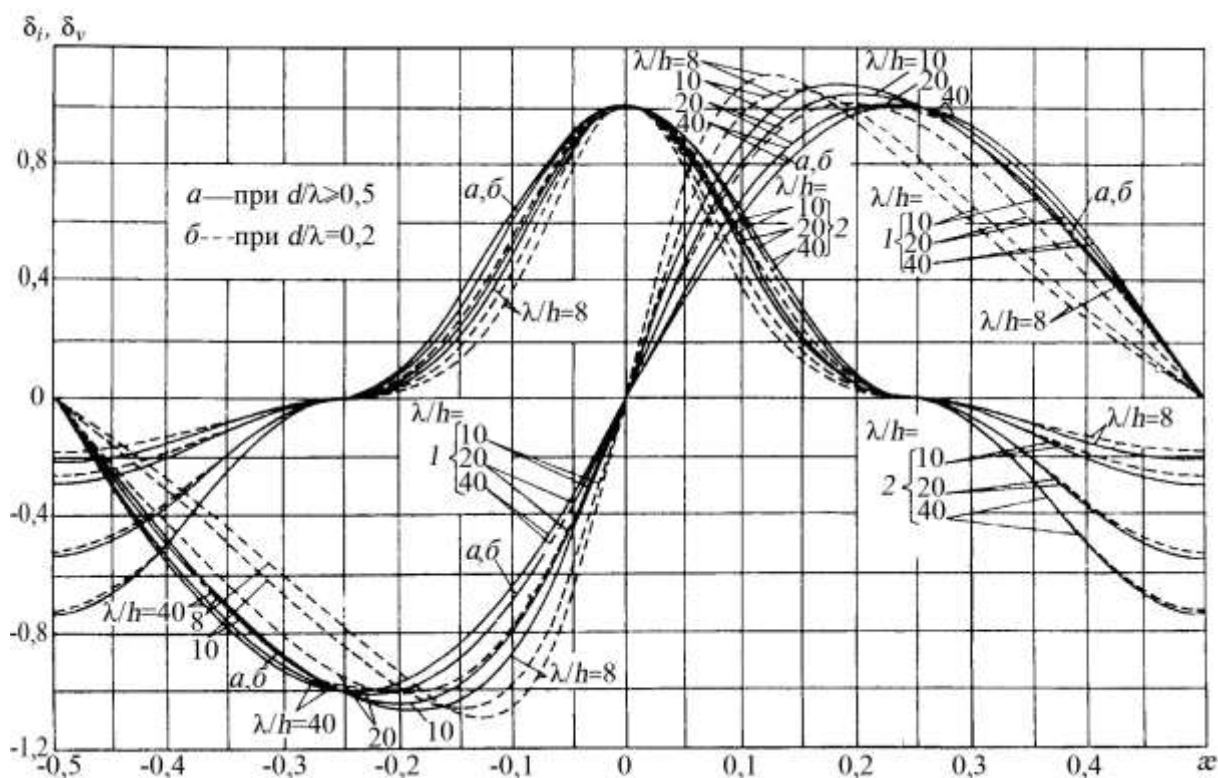


Рисунок Е.1 – Графики значений коэффициентов сочетания инерционного δ_i (графики 1) и скоростного δ_v (графики 2) компонентов силы от воздействия волн

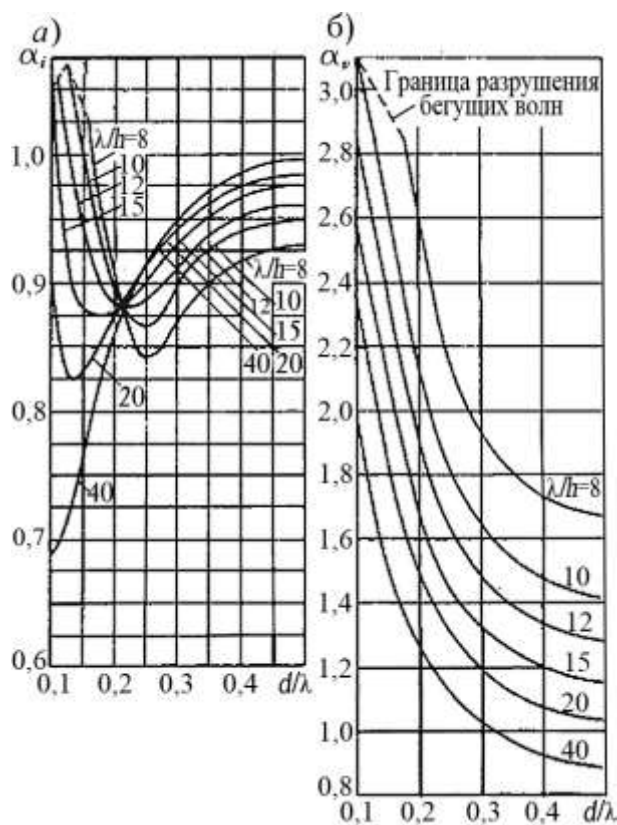
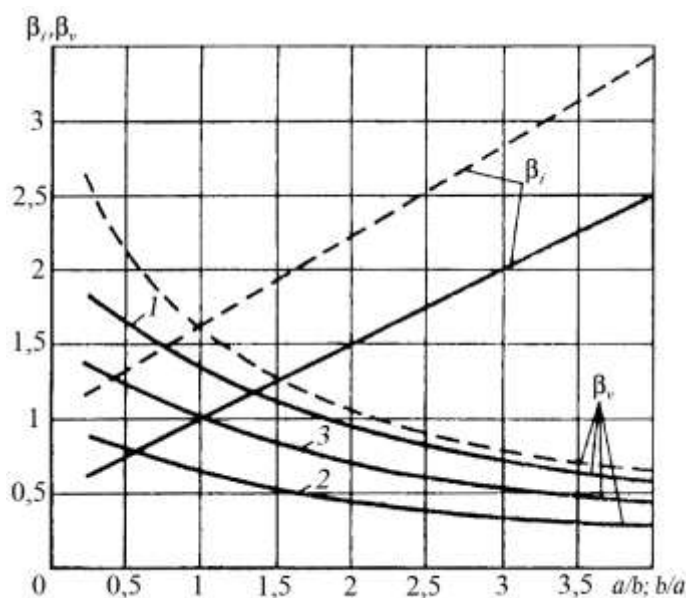


Рисунок E.2 – Графики значений инерционного α_i и скоростного α_v коэффициентов глубины



Эллиптические преграды – сплошные линии; призматические – штриховые линии:
 1 – шероховатая эллиптическая преграда; 2 – гладкая эллиптическая преграда; 3 – шероховатая в подводной части и гладкая в надводной части вертикальная эллиптическая преграда

Рисунок E.3 – Графики значений инерционного β_i и скоростного β_v коэффициентов формы в зависимости от a/b (для Q , q и P_x) или b/a (для P_z)

Е.2 Нагрузку от волн q , кН/м, на вертикальную обтекаемую преграду на глубине z , м, при максимальной силе от воздействия волн $Q_{\max}$ (рисунок 8,а) следует определять по формуле

$$q = q_{i,\max} \delta_{xi} + q_{v,\max} \delta_{xv}, \quad (\text{E.6})$$

где $q_{i,\max}$ и $q_{v,\max}$ – инерционный и скоростной компоненты максимальной нагрузки от волн, кН/м:

$$q_{i,\max} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 b^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{xi} \beta_i, \quad (\text{E.7})$$

$$q_{v,\max} = \frac{2}{3} \rho g \pi b \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{xv} \beta_v, \quad (\text{E.8})$$

δ_{xi} и δ_{xv} – коэффициенты сочетания инерционного и скоростного компонентов нагрузки от волн, принимаемые соответственно по графикам 1 и 2 рисунка Е.4 при значении α согласно Е.1;
 θ_{xi} и θ_{xv} – коэффициенты компонентов волновой нагрузки, принимаемые по графикам а и б рисунка Е.5 при значениях относительной глубины $z_{rel} = \frac{d-z}{d}$.

Е.3 Превышение взволнованной поверхности η , м, над расчетным уровнем должно определяться по формуле

$$\eta = \eta_{rel} h, \quad (\text{E.9})$$

где η_{rel} – относительное превышение взволнованной поверхности, определяемое по рисунку Е.6.

Превышение средней волновой линии над расчетным уровнем Δd , м, следует определять по формуле

$$\Delta d = (\eta_{c,rel} + 0,5) h, \quad (\text{E.10})$$

где $\eta_{c,rel}$ – относительное превышение вершины волны, определяемое по рисунку Е.6, при значении $\alpha = 0$.

Е.4 Нагрузки от волн Q и q на вертикальную обтекаемую преграду при любом ее расположении x , м, относительно вершины волны определяются по формулам (Е.1) и (Е.6). При этом коэффициенты δ_i и δ_v должны приниматься по графикам 1 и 2 рисунка Е.1, а δ_{xi} и δ_{xv} – по графикам 1 и 2 рисунка Е.4 для данного значения $\alpha = x/\lambda$.

Е.5 Расстояние $z_{Q,\max}$, м, от расчетного уровня воды до точки приложения максимальной силы от воздействия волн на вертикальную обтекаемую преграду $Q_{\max}$ определяется по формуле

$$z_{Q,\max} = \frac{1}{Q_{\max}} (Q_{i,\max} \delta_i z_{Q,i} + Q_{v,\max} \delta_v z_{Q,v}), \quad (\text{E.11})$$

где δ_i и δ_v – коэффициенты, принимаемые по графикам 1 и 2 рисунка Е.1 при значении α , соответствующем $Q_{\max}$;

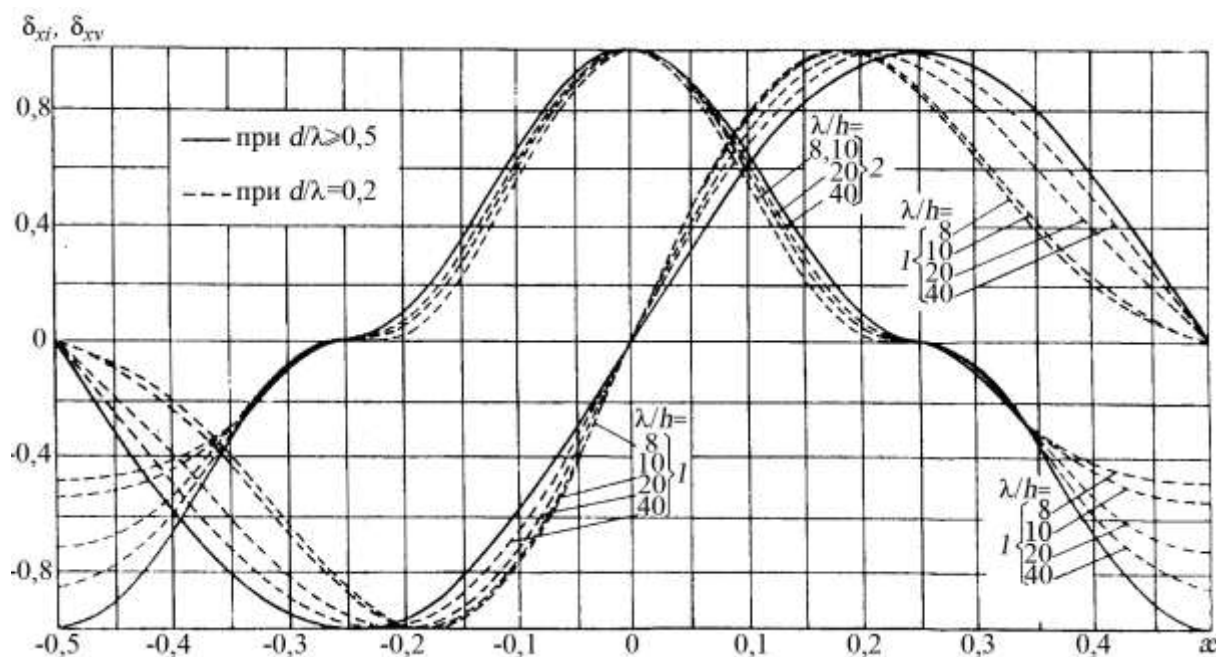


Рисунок E.4 – Графики значений коэффициентов сочетания инерционного δ_{xi} (графики 1) и скоростного δ_{xv} (графики 2) компонентов горизонтальной нагрузки от волн

$z_{Q,i}$ и $z_{Q,v}$ – ординаты точек приложения соответственно инерционного и скоростного компонентов сил, м, определяемые по формулам:

$$z_{Q,i} = \mu_i \zeta_{i,rel} \lambda, \quad (E.12)$$

$$z_{Q,v} = \mu_v \zeta_{v,rel} \lambda, \quad (E.13)$$

где $\zeta_{i,rel}$ и $\zeta_{v,rel}$ – относительные ординаты точек приложения инерционного и скоростного компонентов сил, принимаемые по графикам рисунка E.7;

μ_i и μ_v – инерционный и скоростной коэффициенты фазы, принимаемые по графикам рисунка E.8.

Расстояние z_Q от расчетного уровня воды до точки приложения силы Q при любом удалении x вершины волны от преграды следует определять по формуле (E.11), при этом коэффициенты δ_i и δ_v должны приниматься согласно графикам 1 и 2 рисунка E.1 для данного значения $\alpha = x/\lambda$.

E.6 Максимальная сила воздействия разбивающихся (разрушающихся) волн $Q_{cr,max}$, кН, на вертикальную цилиндрическую преграду диаметром $D \leq 0,4d_{cr}$ принимается по результатам определения силы волнового воздействия Q_{cr} , кН, при

различном удалении вершины волны от преграды (рисунок Е.9,а). Рекомендуется выполнять последовательное рассмотрение случаев с интервалом $0,1\frac{x}{d_t}$, начиная с $\frac{x}{d_t} = 0$ (где x – удаление, м, вершины разбивающейся волны от оси вертикальной цилиндрической преграды).

Сила воздействия волн Q_{cr} , кН, для любого положения цилиндрической преграды относительно вершины волны должна определяться по формуле

$$Q_{cr} = Q_{i,cr} + Q_{v,cr}, \quad (E.14)$$

где $Q_{i,cr}$ и $Q_{v,cr}$ – инерционный и скоростной компоненты силы от воздействия разбивающихся волн, кН:

$$Q_{i,cr} = \frac{1}{2} \rho g \pi D^2 (d_{cr} + \eta_{c,sur}) \delta_{i,cr}, \quad (E.15)$$

$$Q_{v,cr} = \frac{2}{5} \rho g D (d_{cr} + \eta_{c,sur}) d_t \delta_{v,cr}, \quad (E.16)$$

где d_t – глубина воды под подошвой волны, м, (рисунок Е.9,а):

$$d_t = d_{cr} - (h_{sur} - \eta_{c,sur}), \quad (E.17)$$

h_{sur} – высота (трансформированной) волны, м, при обрушении в мелководной зоне с соблюдением условия $h_{sur} \leq 0,8d_t$;

$\eta_{c,sur}$ – превышение, м, над расчетным уровнем воды вершины волны при первом обрушении;

$\delta_{i,cr}$ и $\delta_{v,cr}$ – инерционный и скоростной коэффициенты, принимаемые по графикам рисунка Е.9,б.

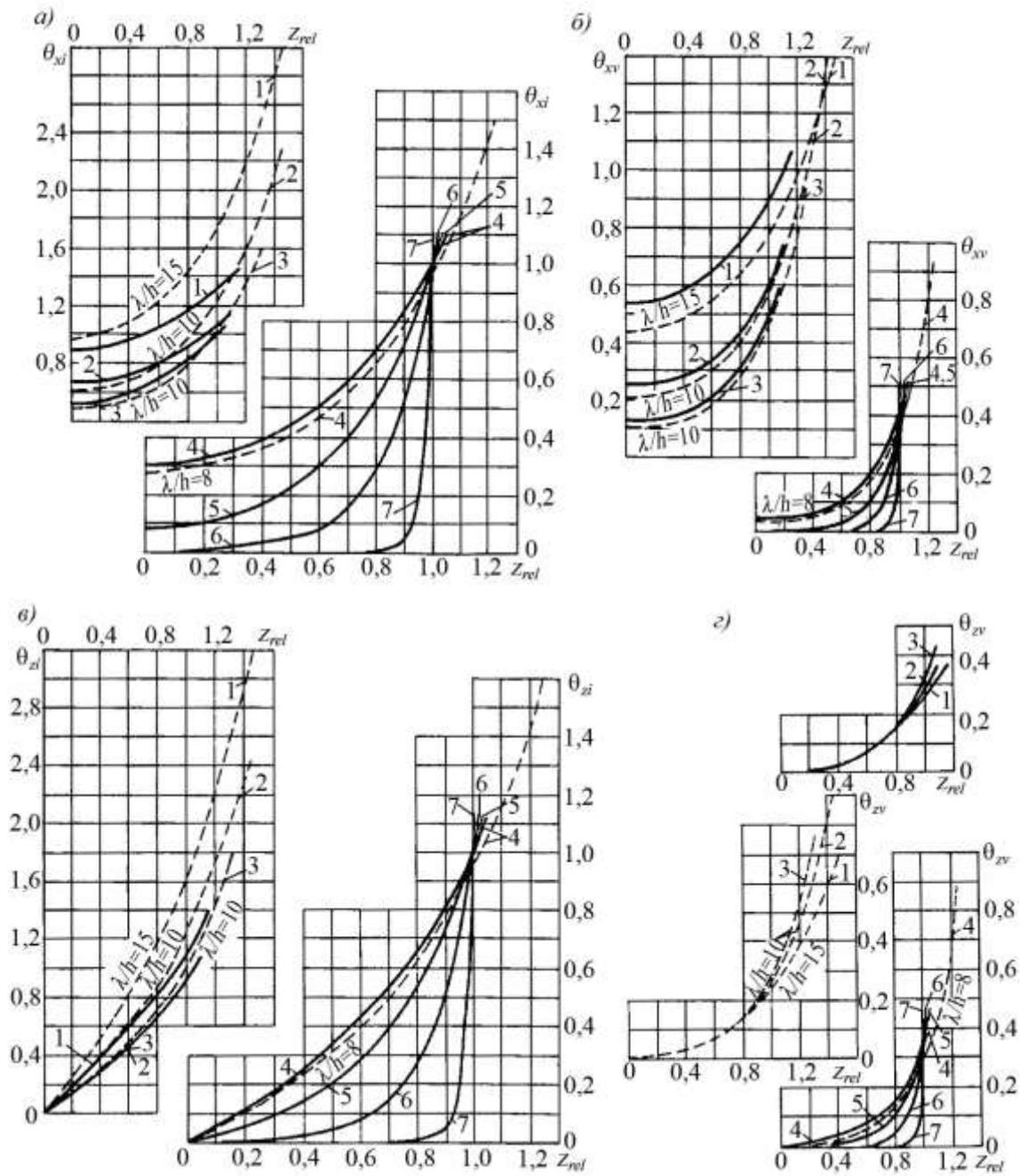
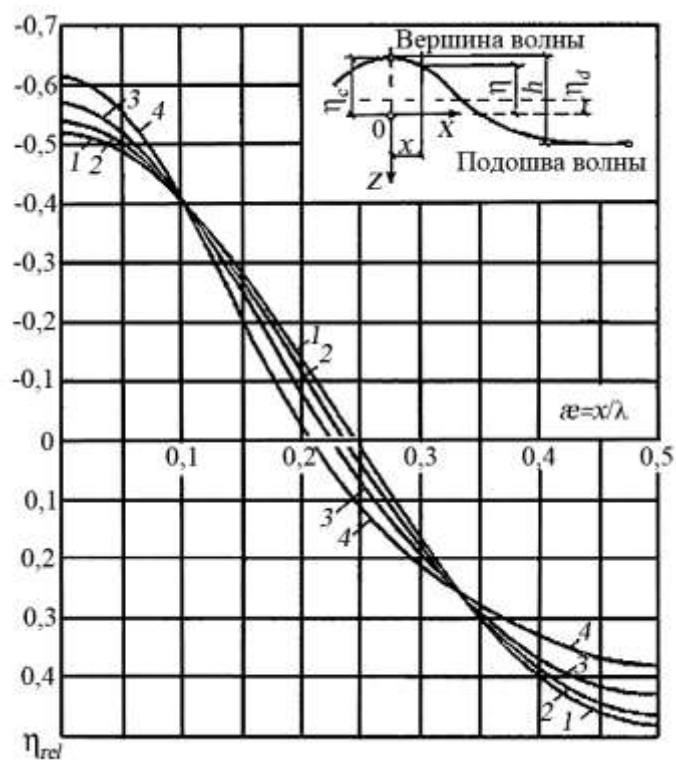


Рисунок Е.5 – Графики коэффициентов нагрузки от волн θ_{xi} , θ_{xv} , θ_{zi} , θ_{zv} , при d/λ : 1) 0,1; 2) 0,15; 3) 0,2; 4) 0,3; 5) 0,5; 6) 1; 7) 5; $\lambda/h = 40$ – сплошные линии; $\lambda/h = 8-15$ – штриховые линии



1 – при $d/\lambda = 0,5$ и $\lambda/d = 40$; 2 – при $d/\lambda = 0,5$ и $\lambda/d = 20$, а также при $d/\lambda = 0,2$ и $\lambda/d = 40$; 3 – при $d/\lambda = 0,5$ и $\lambda/d = 10$, а также при $d/\lambda = 0,2$ и $\lambda/d = 20$; 4 – при $d/\lambda = 0,2$ и $\lambda/d = 10$

Рисунок Е.6 – Графики значений коэффициента η_{rel}

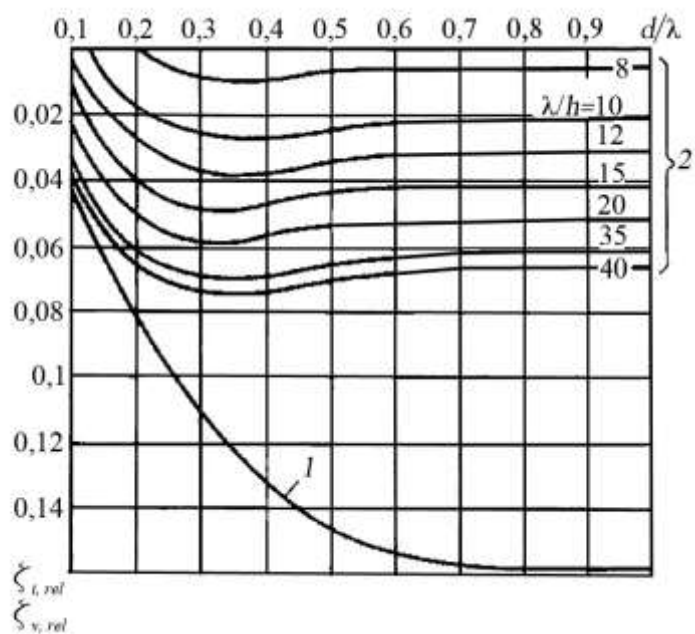


Рисунок Е.7 – Графики значений относительных ординат

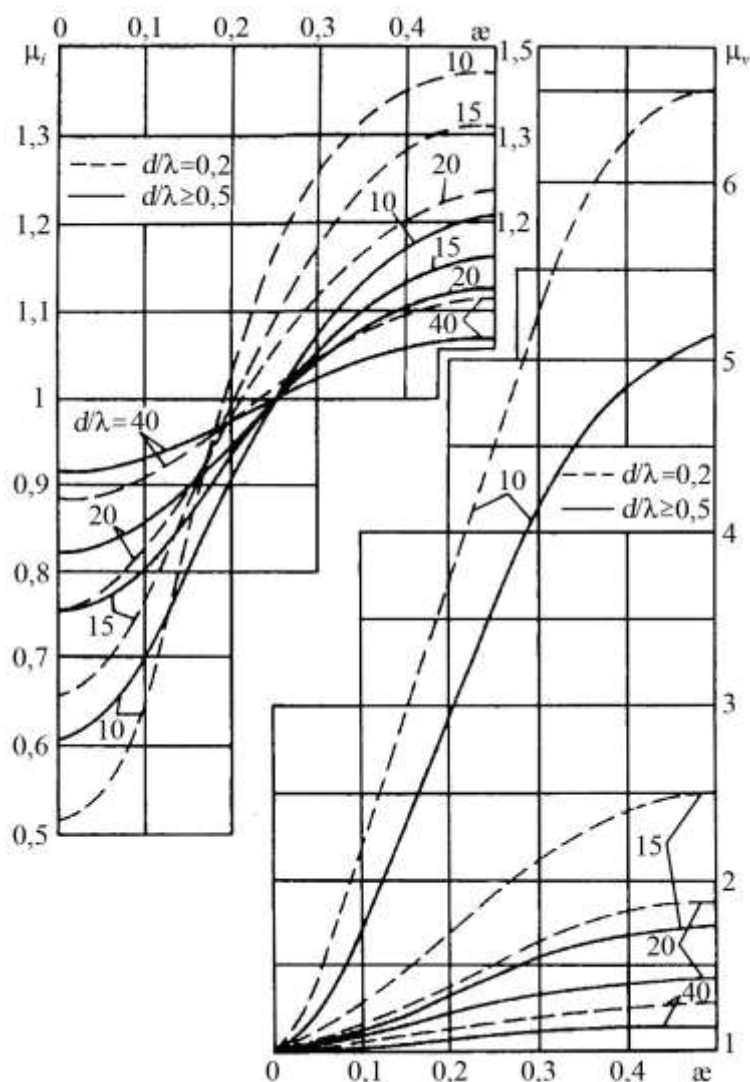


Рисунок Е.8 – Графики значений инерционного μ_i и скоростного μ_v коэффициентов фазы

Е.7 Нагрузку от разбивающихся волн q_{cr} , кН/м, на вертикальную цилиндрическую преграду на глубине z , м, от расчетного уровня (рисунок Е.9,а) при относительном удалении оси преграды от вершины волны x/d_i необходимо определять по формуле

$$q_{cr} = q_{i,cr} + q_{v,cr}, \quad (\text{Е.18})$$

где $q_{i,cr}$ и $q_{v,cr}$ – инерционный и скоростной компоненты нагрузки от разбивающихся волн на вертикальную преграду, кН/м:

$$q_{i,cr} = \frac{1}{2} \rho g \pi D^2 \epsilon_{i,cr}, \quad (\text{Е.19})$$

$$q_{v,cr} = \frac{2}{5} \rho g D (d_{cr} + \eta_{c,sur}) \epsilon_{v,cr}, \quad (\text{Е.20})$$

где $\epsilon_{i,cr}$ и $\epsilon_{v,cr}$ – инерционный и скоростной коэффициенты, принимаемые соответственно по графикам *a* и *б* рисунка Е.10 при значениях относительной глубины $z_{rel} = \frac{d_{cr} - z}{d_t}$.

П р и м е ч а н и е – Коэффициенты $\delta_{i,cr}$ (рисунок Е.9,б) и $\epsilon_{i,cr}$ (рисунок Е.10,а) следует принимать положительными при $x/d_t > 0$ и отрицательными при $x/d_t < 0$.

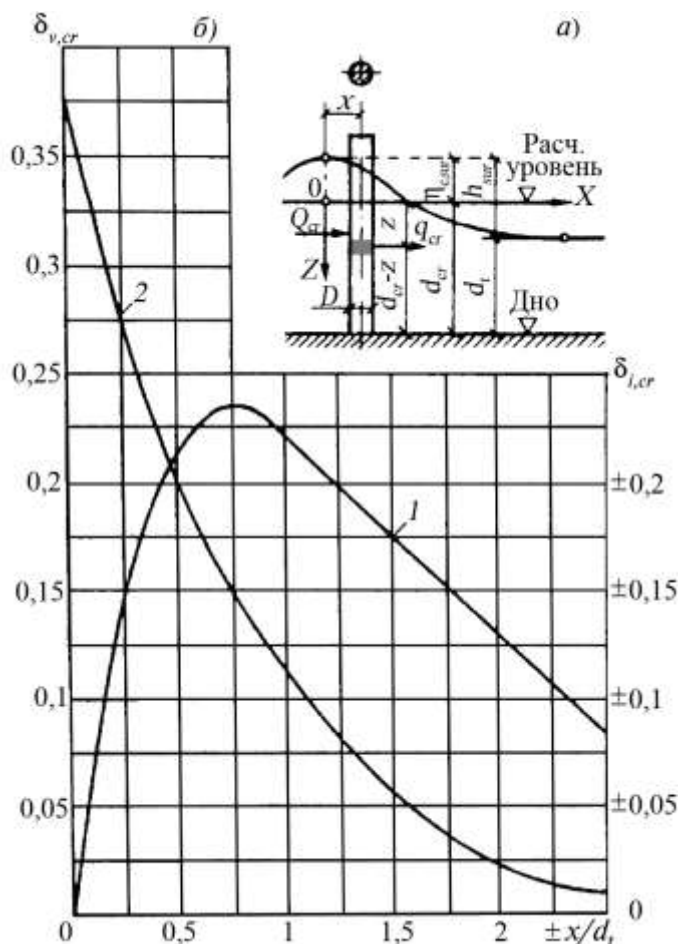


Рисунок Е.9 – Схема к определению нагрузок от разбивающихся волн и графики значений коэффициентов $\delta_{i,cr}$ – кривая 1 и $\delta_{v,cr}$ – кривая 2

Е.8 Максимальный опрокидывающий момент $M_{z,por}$, кН·м, от волнового давления на сплошное днище вертикальной круглоцилиндрической преграды, расположенной на гравийно-галечниковом или каменном набросном основании, относительно центра днища следует определять по формуле

$$M_{z,por} = \frac{1}{16chkd} \rho gh D^3 \beta_{por}, \quad (E.21)$$

где β_{por} – коэффициент опрокидывающего момента с учетом проницаемости основания, принимаемый по таблице Е.2.

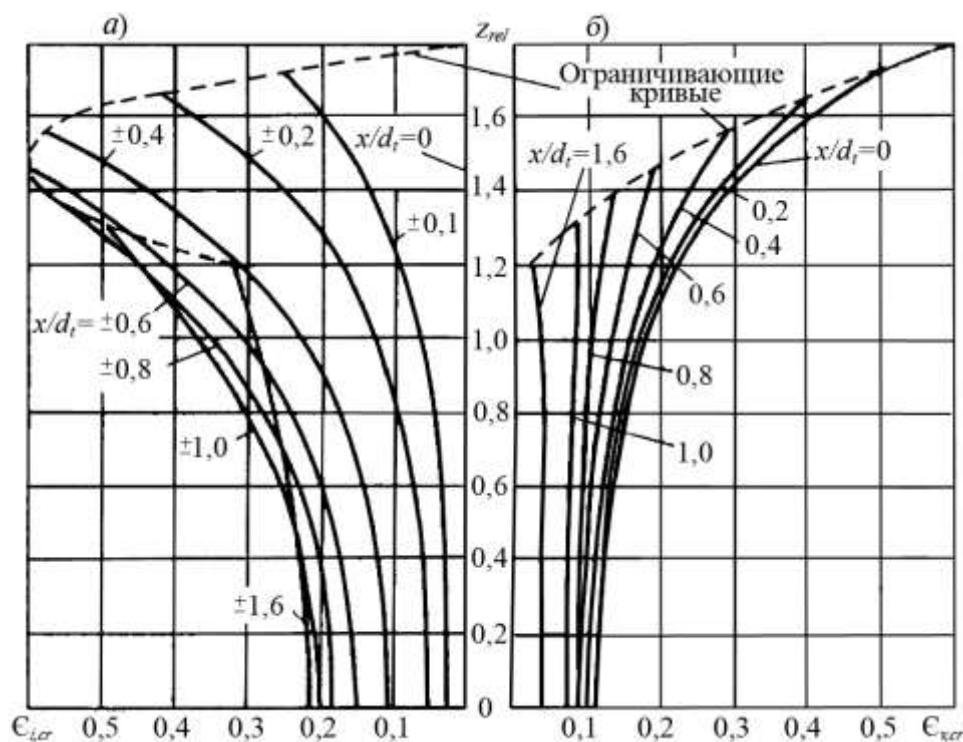


Рисунок E.10 – Графики значений инерционного $\epsilon_{i,cr}$ и скоростного $\epsilon_{v,cr}$ коэффициентов

Полный максимальный опрокидывающий момент, действующий на преграду, определяется как сумма двух моментов: момента от максимальной силы Q_{max} , равного произведению этой силы, определяемой по Е.1 на плечо, определяемое по Е.5, и максимального момента $M_{z,por}$ по формуле (Е.21), совпадающего по фазе с максимальной силой Q_{max} .

Т а б л и ц а Е. 2

D/λ	0,2	0,25	0,3	0,4
β_{por}	0,88	1,05	1,10	1,08

Е.9 Волновое давление p , кПа, в точке поверхности вертикальной круглоцилиндрической преграды на глубине $z \geq 0$ в момент максимума горизонтальной силы Q_{max} определяется по формуле

$$p = \rho g h \frac{\text{ch}k(d-z)}{\text{ch}kd} \chi, \quad (\text{Е.22})$$

где χ – коэффициент распределения давления, принимаемый по таблице Е.3.

Давление p в точках, лежащих выше расчетного уровня воды ($z \geq 0$), принимается: при $\chi > 0$ по линейному закону между p на уровне $z = 0$, определяемым по формуле (Е.22), и $p = 0$ на уровне $z = -\chi h$;

при $\chi < 0$ для точек на глубине $0 \leq z \leq -\chi h$ по линейному закону между $p = 0$ при $z = 0$ и значением p , определяемым по формуле (Е.22) при $z = -\chi h$.

Е.10 Максимальную донную скорость $V_{b,\max}$, м/с, в точках, расположенных на контуре преграды ($\theta = 90^\circ$ и 270°) и впереди преграды на расстоянии $0,25\lambda$ от контура преграды ($\theta = 0^\circ$), следует определять по формуле

$$V_{b,\max} = 2\varphi_v \frac{\pi h}{T} \frac{1}{\operatorname{sh} kd}, \quad (\text{E.23})$$

где коэффициент φ_v принимается по таблице Е.4.

Т а б л и ц а Е.3

θ , град	Значение коэффициента χ при D/λ		
	0,2	0,3	0,4
0	0,73	0,85	0,86
15	0,7	0,83	0,85
30	0,68	0,81	0,84
45	0,6	0,74	0,8
60	0,5	0,65	0,7
75	0,35	0,51	0,55
90	0,22	0,34	0,34
105	0,03	0,11	0,1
120	-0,09	-0,08	-0,1
135	-0,23	-0,23	-0,23
150	-0,32	-0,36	-0,33
165	-0,37	-0,42	-0,38
180	-0,41	-0,45	-0,4

θ – угол между лучом набегающей волны и направлением на рассматриваемую точку из центра преграды (для передней образующей цилиндра $\theta = 0^\circ$).

Т а б л и ц а Е.4

Положение расчетных точек	Значения коэффициента φ_v при D/λ		
	0,2	0,3	0,4
На контуре преграды	0,98	0,87	0,77
Впереди преграды	0,67	0,75	0,75

Нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду

Е.11 Максимальное значение равнодействующей нагрузки от волн $P_{\max}$, кН/м, на горизонтальную обтекаемую преграду (рисунок 8,б) с поперечными размерами $a \leq 0,1\lambda$, м, и $b \leq 0,1\lambda$, м, при $z_c \leq b$, но $(z_c - b/2) > h/2$ и при $(d - z_c) \geq b$ должно определяться по формуле

$$P_{\max} = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad (\text{E.24})$$

для двух случаев:

с максимальной горизонтальной составляющей нагрузки $P_{x,\max}$, кН/м, при соответствующем значении вертикальной составляющей нагрузки P_z , кН/м;

с максимальной вертикальной составляющей нагрузки $P_{z,\max}$, кН/м, при соответствующем значении горизонтальной составляющей линейной P_x , кН/м.

Расстояние x , м, от вершины волны до центра преграды при действии максимальных нагрузок $P_{x,\max}$ и $P_{z,\max}$ должны определяться по относительной величине $\alpha = x/\lambda$, принимаемой согласно рисункам Е.4 и Е.11.

Е.12 Максимальное значение горизонтальной составляющей нагрузки от волн $P_{x,\max}$, кН/м, на горизонтальную обтекаемую преграду определяется из ряда величин, получаемых при различных значениях α , по формуле

$$P_{x,\max} = P_{xi}\delta_{xi} + P_{xv}\delta_{xv}, \quad (\text{Е.25})$$

где P_{xi} и P_{xv} – инерционный и скоростной компоненты горизонтальной составляющей нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам:

$$P_{xi} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 b^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{xi} \beta_i, \quad (\text{Е.26})$$

$$P_{xv} = \frac{2}{3} \rho g \pi b \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{xv} \beta_v, \quad (\text{Е.27})$$

δ_{xi} и δ_{xv} – коэффициенты сочетания инерционного и скоростного компонентов нагрузки от волн, принимаемые соответственно по графикам 1 и 2 рисунка Е.4 при значении α согласно Е.1;

θ_{xi} и θ_{xv} – то же, что и в Е.2;

β_i и β_v – инерционный и скоростной коэффициенты формы преграды с поперечным сечением в виде круга, эллипса и прямоугольника, принимаемые по графикам рисунка Е.3 при значениях a/b – для горизонтальной и b/a – для вертикальной составляющих нагрузки.

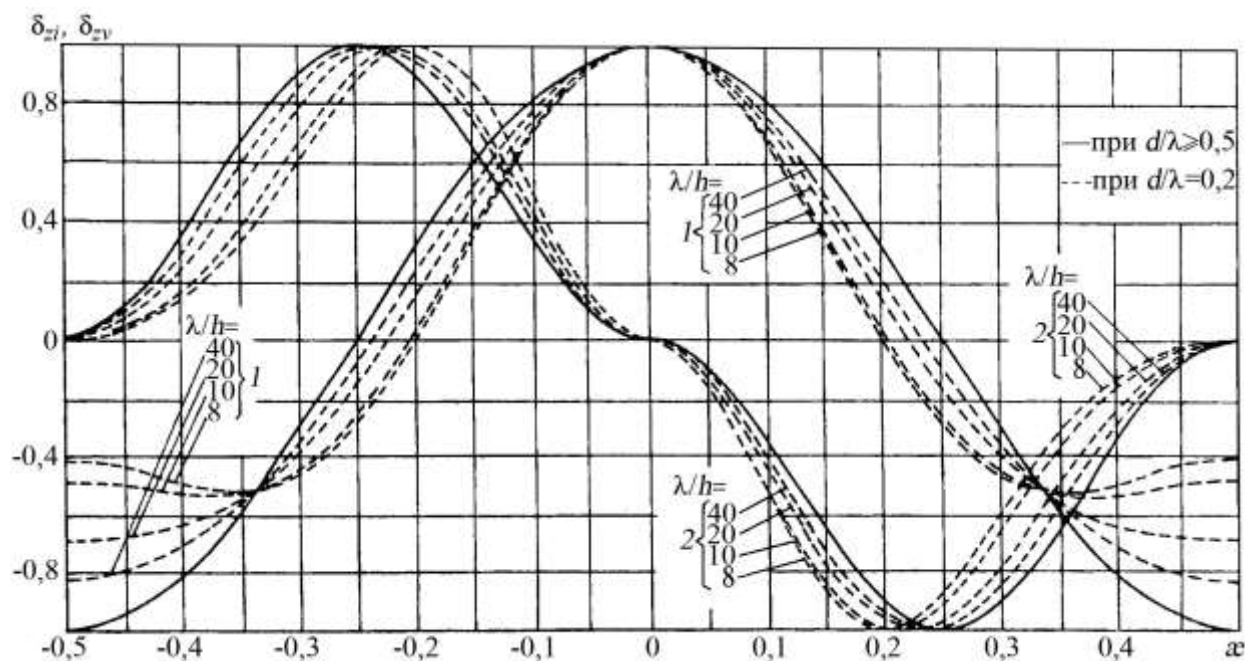


Рисунок Е.11 – Графики значений коэффициентов сочетания инерционного δ_{zi} (графики 1) и скоростного δ_{zv} (графики 2) компонентов вертикальной нагрузки от волн

Е.13 Максимальное значение вертикальной составляющей нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду $P_{z,\max}$, кН/м, следует определять из ряда величин, получаем при разных значениях α по формуле

$$P_{z,\max} = P_{zi}\delta_{zi} + P_{zv}\delta_{zv}, \quad (\text{E.28})$$

где P_{zi} и P_{zv} – инерционный и скоростной компоненты вертикальной составляющей нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам:

$$P_{zi} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 a^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{zi} \beta_i, \quad (\text{E.29})$$

$$P_{zv} = \frac{2}{3} \rho g \pi a \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{zv} \beta_v, \quad (\text{E.30})$$

δ_{zi} и δ_{zv} – инерционный и скоростной коэффициенты сочетания, принимаемые по графикам 1 и 2 рисунка Е.11.

θ_{zi} и θ_{zv} – коэффициенты компонентов волновой нагрузки, принимаемые соответственно по графикам *в* и *г* рисунка Е.5 при значениях относительной

$$\text{ординаты } z_{c,rel} = \frac{d - z_c}{d};$$

β_i и β_v – то же, что и в Е.12.

Е.14 Значение горизонтальной P_x , кН/м, или вертикальной P_z , кН/м, составляющих нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду при любом ее расположении x относительно вершины волны следует определять соответственно по формулам (Е.25) или (Е.28). При этом коэффициенты сочетания δ_{xi} , δ_{xv} или δ_{zi} , δ_{zv} должны приниматься по графикам рисунков Е.4 и Е.11 для заданного значения $\alpha = x/\lambda$.

Е.15 Максимальное значение равнодействующей нагрузки от волн $P_{\max}$, кН/м, на лежащую на дне цилиндрическую преграду (рисунок 8,б), диаметр которой $D \leq 0,1\lambda$ и $D \leq 0,1d$ должно определяться по формуле (Е.24) для двух случаев, указанных в Е.11.

Е.16 Максимальную горизонтальную $P_{x,\max}$, кН/м, и соответствующую вертикальную P_z , кН/м, проекции нагрузки от волн, действующих на лежащую на дне цилиндрическую преграду, необходимо определять по формулам:

$$P_{x,\max} = P_{xi}\delta_{xi} + P_{xv}\delta_{xv}, \quad (\text{E.31})$$

$$P_z = -\frac{9}{5} P_{xv}\delta_{xv}, \quad (\text{E.32})$$

где P_{xi} и P_{xv} – соответственно инерционный и скоростной компоненты горизонтальной составляющей нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам:

$$P_{xi} = \frac{3}{4} \rho g \pi^2 D^2 \frac{h}{\lambda} \theta_{xi}, \quad (\text{E.33})$$

$$P_{xv} = \rho g \pi D \frac{h^2}{\lambda} \theta_{xv}, \quad (\text{E.34})$$

δ_{xi} , δ_{xv} , и θ_{xi} , θ_{xv} , – то же, что в Е.12.

Максимальную вертикальную $P_{z,\max}$, кН/м, и соответствующую горизонтальную P_x , кН/м, проекции нагрузки от волн следует принимать равными

$$P_{z,\max} = -\frac{9}{5} P_{xv}; \quad P_x = P_{xv}.$$

Нагрузки от волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов

Е.17 Нагрузку от волн на сквозное сооружение в виде стержневой системы следует получать суммированием нагрузок, определенных согласно Е.1 – Е.14 как для отдельно стоящих преград с учетом положения каждого элемента относительно профиля расчетной волны. Элементы сооружения должны приниматься как отдельно стоящие обтекаемые преграды при расстояниях между их осями l , равных и более трех диаметров D ; при $l < 3D$ (где D – наибольший диаметр элемента) волновую нагрузку, полученную на отдельно стоящий элемент сооружения, необходимо умножать на коэффициенты сближения по фронту ψ_t и лучу ψ_l волн, принимаемые по таблице Е.5.

Е.18 Нагрузки от волн на наклонный элемент сквозного сооружения необходимо получать по эпюрам горизонтальной и вертикальной составляющих нагрузки, ординаты которых должны определяться согласно Е.14 с учетом заглубления под расчетный уровень и удаления от вершины расчетной волны отдельных участков элемента.

П р и м е ч а н и е – Нагрузки от волн на элементы сооружения, наклоненные к горизонтали или вертикали под углом менее 25° , определяются соответственно по Е.4 и Е.14 как на вертикальную или горизонтальную обтекаемую преграду.

Т а б л и ц а Е.5

Относительное расстояние между осями преград l/D	Коэффициенты сближения Ψ_t и Ψ_l при значениях относительных диаметров D/λ			
	Ψ_t		Ψ_l	
	0,1	0,05	0,1	0,05
3	1	1	1	1
2,5	1	1,05	1	0,98
2	1,04	1,15	0,97	0,92
1,5	1,2	1,4	0,87	0,8
1,25	1,4	0,65	0,72	0,68

Е.19 Нагрузку от воздействия нерегулярных ветровых волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов следует определять умножением значения статической нагрузки, полученной согласно Е.17 и Е.18 от волн с высотой заданной обеспеченности в системе и средней длиной, на коэффициент динамичности k_d , принимаемый по таблице Е.6.

При отношениях периодов $T_c / \bar{T} > 0,3$ необходимо выполнять динамический расчет сооружения.

Т а б л и ц а Е.6

Отношение периодов $T_c / \bar{T}$	0,01	0,1	0,2	0,3
Коэффициент динамичности k_d	1	1,15	1,2	1,3
T_c – период собственных колебаний сооружения, с; $\bar{T}$ – средний период волны, с.				

Приложение Ж

Построение эпюр давления от судовых волн

Для построения эпюр давления на крепление берегов от судовых волн используются значения локального давления в характерных точках, приведенные в таблице Ж.1.

В таблице Ж.1 приняты следующие обозначения:

h_{sh} – высота судовой волны, м;

h_{rsh} – высота наката судовой волны на откос, м;

d_{inf} – глубина низа крепления откоса, м;

d_{sh} – глубина воды, м;

d_h – глубина забивки шпунта;

Δz_f – понижение уровня воды, м, за креплением откоса вследствие фильтрации; принимается равным:

$0,25h_{sh}$ – для крепления протяженностью по откосу от расчетного уровня воды менее 4 м с водонепроницаемым упором;

$0,2h_{sh}$ – то же, с протяженностью более 4 м с упором в виде каменной призмы;

$0,1h_{sh}$ – для вертикальной шпунтовой стенки.

Таблица Ж.1

Условия	Эпюра давления от судовых волн	Формула для определения давления в характерных точках
Накат волны на откос, укрепленный плитами		$z = z_1 = -h_{ph} \quad p_1 = 0;$ $z = z_2 = 0 \quad p_2 = 1,34\rho gh_{ph};$ $z = z_3 = 1,5h_{ph}\sqrt{1 + ctg^2 \varphi} \quad p_3 = 0,5\rho gh_{ph}.$
Откат волны с откоса, укрепленного плитами		$z = z_1 = \Delta z_f \quad p_1 = 0;$ $z = z_2 = 0,5h_{ph} \quad p_2 = -\rho g(0,5h_{ph} - \Delta z_f);$ $z = z_3 = d_{inf} \quad p_3 = p_2.$
Ложбина волны у вертикальной стены		$z = z_1 = \Delta z_f \quad p_1 = 0;$ $z = z_2 = 0,5h_{ph} \quad p_2 = -\rho g(0,5h_{ph} - \Delta z_f);$ $z = z_3 = d_{ph} \quad p_3 = p_2;$ $z = z_4 = d_{ph} + d_k \quad p_4 = 0;$

Приложение И

Учет экранирования при воздействии на суда ветровых нагрузок

Наличие экранирующих преград с наветренной стороны пришвартованного судна, которое может привести к существенному уменьшению нагрузок от воздействия ветра на судно, учитывается путем уменьшения площади парусности пришвартованного судна на приведенное значение экранирующей площади A_e , м², определяемой в соответствии с рисунком И.1 по формуле

$$A_e = (h_k + \alpha_e H_e) L, \quad (\text{И.1})$$

где H_e – среднее значение высоты экранирующих препятствий, м;

L – длина причала;

h_k – возвышение кордона причала над наивысшим уровнем воды, м;

α_e – коэффициент, учитывающий степень экранирующего действия преграды, определяемый по выражению

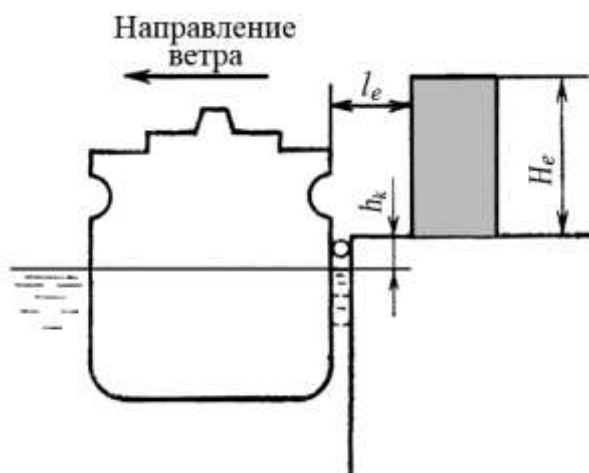


Рисунок И.1 – Схема ветрового экранирования судна

$$\alpha_e = 0,5 \frac{H_e}{l_e} \frac{L_e}{a_h}, \quad (\text{И.2})$$

где L_e – длина или сумма длин экранирующих преград

l_e – среднее расстояние экранирующих препятствий от кордона; при $l_e < H_e$ принимают $l_e = H_e$, м;

a_h – наибольший размер надводного силуэта плавучего объекта

при $L \leq L_s$, $a_h = L$;

при $L \geq L_s$, $a_h = L_s$;

L_s – длина плавучего объекта по ватерлинии, м

Приложение К

Коэффициенты сопротивления от воздействия течения на плавучие объекты

К.1 Коэффициент сопротивления продольной нагрузки от течения C_l , определяемый как сумма коэффициента сопротивления формы корпуса судна, коэффициента сопротивления, обусловленного трением воды по смоченной поверхности судна, и коэффициента сопротивления винто-рулевой группы судна, определяется по формуле

$$C_l = 0,1 \left[1,0 + C_t L_s \left(\frac{1,7}{B_k} + \frac{35\delta}{T_k} \right) \right] + 1,2 \frac{L_s}{T_k A_R}, \quad (\text{К.1})$$

где C_t – коэффициент сопротивления трения, вычисляемый по формуле

$$C_t = \frac{0,075}{(\log \text{Re} - 2)^2}, \quad (\text{К.2})$$

Re – число Рейнольдса, определяемое по формуле

$$\text{Re} = \frac{V_l L_s}{\nu}; \quad (\text{К.3})$$

V_l – продольная составляющая скорости течения, м/с;

L_s – длина плавучего объекта по ватерлинии, м;

ν – кинематический коэффициент вязкости воды, принимаемый равным $\nu = 1,0 \cdot 10^{-6}$, м²/с;

δ – коэффициент общей полноты судна;

B_s, T_s – ширина и осадка судна при рассматриваемой загрузке, м;

A_R – величина, характеризующая площадь парусности винто-рулевой группы судна, принимаемая по данным таблицы К.1 в зависимости от типа судна.

К.2 Коэффициент сопротивления поперечной нагрузки от течения рекомендуется вычислять по формуле

$$C_n = C_n^\infty + (C_n^1 - C_n^\infty) \cdot \left(\frac{T_s}{d} \right)^{k_1}, \quad (\text{К.4})$$

где C_n^∞ – коэффициент сопротивления при отношении глубины воды к осадке судна $d / T_s = \infty$;

C_n^1 – коэффициент сопротивления при отношении глубины воды к осадке судна $d / T_s = 1$;

d – глубина, м;

k_1 – числовой коэффициент; для большинства типов кораблей принимается $k_1=2$;

Т а б л и ц а К.1

Тип корабля	A_R
Грузовые суда	240
Танкеры	270

Коэффициент сопротивления C_n^∞ рекомендуется определять по формуле

$$C_n^\infty = 0,22 \sqrt{L_s^2 A_p / (B_s W)}, \quad (\text{K.5})$$

где A_p – фактическая подводная лобовая площадь парусности судна, м^2 ;

W – объем погруженной части корпуса судна (объемное водоизмещение), м^3 ;

Минимальное значение коэффициента C_n^∞ должно приниматься не менее $C_n^\infty = 0,4$.

Коэффициент сопротивления C_n^1 принимается по данным таблицы К.2 в зависимости от величины $\delta L_s / \mu \sqrt{T_s}$, где δ – коэффициент общей полноты судна, $\mu = A_p / B_s T_s$ – коэффициент полноты мидель-шпангоута судна. Для промежуточных значений величины $\delta L_s / \mu \sqrt{T_s}$ данные таблицы К.2 допускается интерполировать и экстраполировать. Минимальное значение коэффициента C_n^1 должно приниматься не менее $C_n^1 = 2,0$.

Т а б л и ц а К.2

$\delta L_s / \mu \sqrt{T_s}$	C_n^1
20	2,00
40	2,84
60	3,64
80	4,50
100	5,44

Приложение Л

Расчет нагрузки от навала пришвартованного судна на причальное сооружение при волнении

Л.1 Деформацию отбойных устройств (и причального сооружения) Δ_z , м, возникающую при навале пришвартованного судна на причал под действием волн, определяется по формуле

$$\Delta_z = \bar{A} \left(j + \frac{\eta_0}{A} \right), \quad (\text{Л.1})$$

где $\bar{A}$ – среднее значение амплитуды поперечно-горизонтальных колебаний точки контакта борта судна с отбойными устройствами, м, определяемое по формуле

$$\bar{A} = \chi \frac{\bar{h}}{2}; \quad (\text{Л.2})$$

$$\chi = \chi_\psi \left(\chi_\eta + 2\pi \frac{l_\theta}{\lambda} \chi_\theta k_\theta \right); \quad (\text{Л.3})$$

где η_0 – смещение центра поперечно-горизонтальных колебаний, м; определяется по графику рисунка Л.1 в зависимости от параметров $\frac{\sqrt{v}\sigma}{\tilde{\omega}}$ и P ,

$$P = \pi \frac{\mu}{\chi} \frac{\varepsilon}{\lambda}; \quad (\text{Л.4})$$

$$v = v_d v_c \frac{1}{\frac{1}{k_m} + \left(\frac{l_\phi}{\rho_\phi} \right)^2 + \left(\frac{l_\theta}{\rho_\theta} \right)^2}; \quad (\text{Л.5})$$

k_m – коэффициент присоединенной массы воды при качке судна, определяемый по таблице Л.1;

v_c – коэффициент демпфирования подводной частью причального сооружения, принимаемый в зависимости от конструкции причального сооружения по таблице Л.2;

$v_d=1$ – для случая качки судна;

l_ϕ , l_θ – абсцисса и ордината точки приложения нагрузки от навала судна относительно его центра тяжести, отсчитываемые по продольной и вертикальной главным осям соответственно, м;

ρ_ϕ , ρ_θ – радиусы инерции судна относительно вертикальной и горизонтальной главных центральных осей, м;

$\sigma = \frac{2\pi}{\bar{\tau}}$ – средняя частота, с^{-1} , действующих на судно волн, где $\bar{\tau}$ – средний в системе период волн, с;

$\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{C_0 n}{\rho W}}$ – приведенная частота поперечно-горизонтальных колебаний судна на

отбойных устройствах, c^{-1} , где C_0 – коэффициент жесткости отбойного устройства, определяемый для начального, линейного, участка характеристики «сила-деформация», Н/м;

n – число отбойных устройств, одновременно деформируемых при навале; для отбойных устройств с существенно нелинейными характеристиками (конических, арочных и т.п.) приведенная частота поперечно-горизонтальных колебаний судна $\tilde{\omega}$ должна быть умножена на коэффициент 0,7;

W – водоизмещение судна, m^3 , при рассматриваемой нагрузке;

ρ – плотность воды, kg/m^3 ;

μ и ε – параметры, определяемые по рисункам Л.2 и Л.3 соответственно;

χ_ψ – коэффициент, учитывающий нефронтальный подход волн к диаметральной плоскости судна, определяется по графику рисунка Л.4, где $L_{пп}$ – длина судна между перпендикулярами, м; ψ – угол подхода волн, отсчитываемый от продольной оси судна;

χ_η и χ_θ – редуцированные коэффициенты поперечно-горизонтальной и бортовой качки соответственно, определяются по графикам рисунка Л.5;

k_θ – коэффициент динамичности бортовой качки; определяется по графику рисунка Л.6, где $\omega_\theta = 2\pi/\tau_\theta$ – собственная частота бортовой качки,

c^{-1} , τ_θ – собственный ее период, с;

$\bar{h}$ и $\bar{\lambda}$ – соответственно средние в системе значения высот и длин волн, воздействующих на судно, м;

j – коэффициент перехода от средних значений к малообеспеченным для амплитуд поперечно-горизонтальных колебаний точки контакта борта судна с отбойными устройствами, распределенными по закону Релея; определяется по таблице Л.3, в расчетном случае следует рассматривать навал однопроцентной обеспеченности.

Нагрузка, передаваемая причальному сооружению через отбойные устройства, расположенные в средней части участка контакта судна с сооружением L_k , определяется в предположении навала судна лагом, когда все n отбойных устройств в пределах прямолинейной части борта деформируются равномерно.

Т а б л и ц а Л.1

Относительная осадка d_s/d	Значения коэффициента k_m при параметре $B\sigma^2/g$, равном						
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,00	1,90	1,67	1,39	1,23	1,15	1,15	1,15
0,20	2,08	1,82	1,48	1,32	1,22	1,21	1,21
0,40	2,35	2,04	1,64	1,43	1,35	1,33	1,33
0,60	2,63	2,27	1,82	1,60	1,55	1,54	1,54
0,80	2,86	2,44	2,04	1,82	1,75	1,74	1,72
0,90	3,13	2,67	2,22	1,96	1,89	1,87	1,85
0,95	3,33	2,78	2,27	2,04	1,96	1,92	1,90
B и d_s – наибольшая ширина и осадка к грузу расчетного судна, м; d – глубина акватории у сооружения, м; $\sigma = \frac{2\pi}{\bar{\tau}}$ – средняя частота воздействующих на судно волн, $1/c$; $\bar{\tau}$ – средний в системе период волн, с.							

Нагрузка, передаваемая причальному сооружению через отбойные устройства, расположенные на концах участка контакта, определяется в предположении неравномерного навала (под углом, при наличии рыскания), когда $n = 1$.

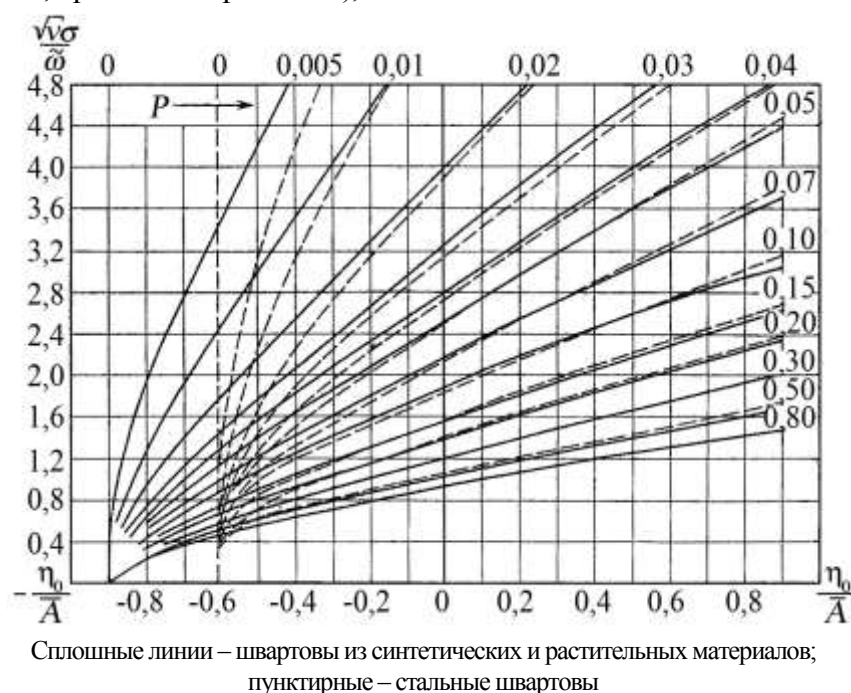


Рисунок Л.1 – График для определения параметра $\frac{\eta_0}{A}$

Таблица Л.2

Конструкции причальных сооружений	Коэффициент v_c демпфирования
Набережные из обыкновенных или фасонных массивов, массивов-гигантов, оболочек большого диаметра и набережные на свайных опорах с передним шпунтом	0,75
Набережные эстакадного или мостового типа, набережные на свайных опорах с задним шпунтом	0,85
Пирсы эстакадного или мостового типа, палы причальные, в том числе головные или разворотные	1,0

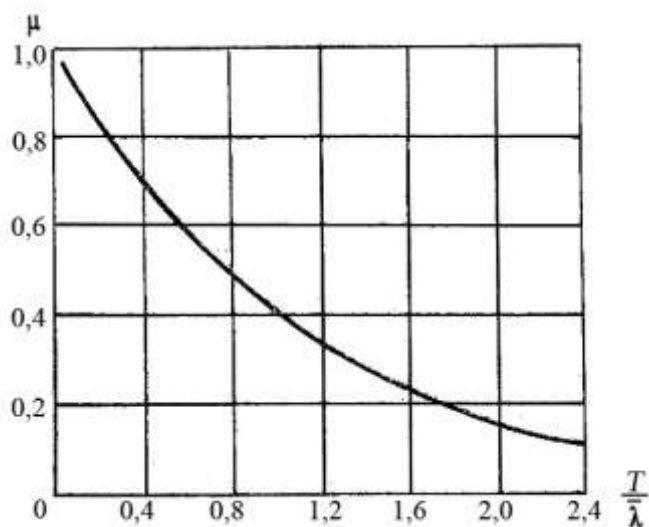
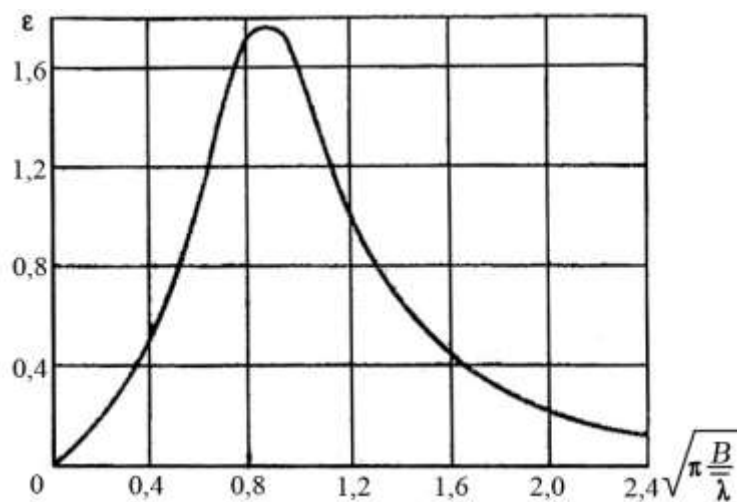
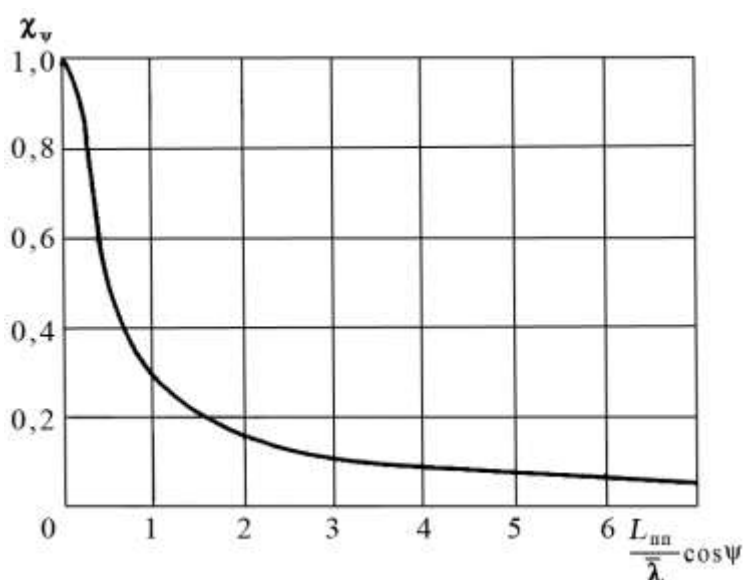


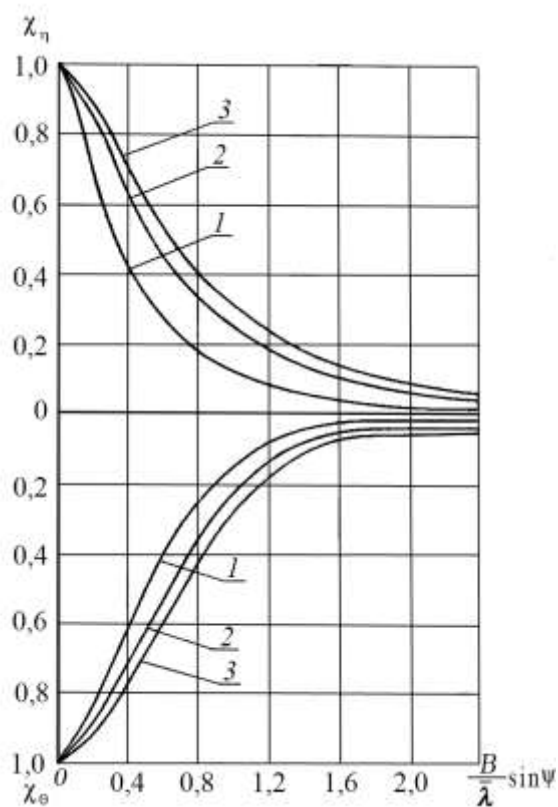
Рисунок Л.2 – График для определения значения μ

Рисунок Л.3 – График для определения значения ε Рисунок Л.4 – График для определения значения редуционного коэффициента χ_{ψ}

Т а б л и ц а Л.3

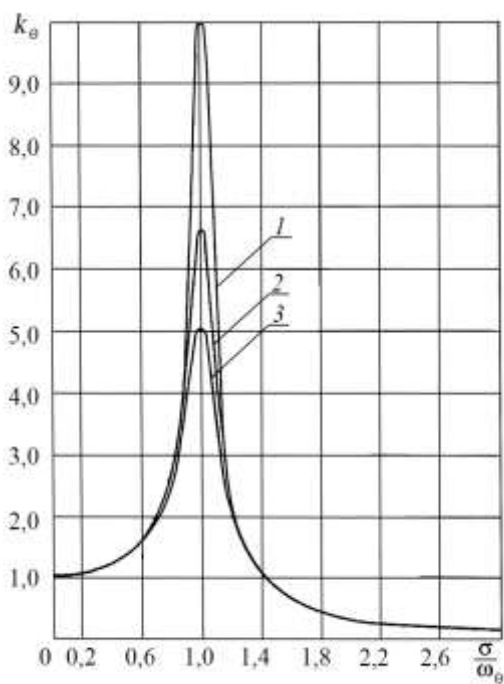
Обеспеченность, %	1	3	5	10	20	50
j	2,42	2,11	1,95	1,71	1,43	0,94

Л.2 Нагрузка на отдельное отбойное устройство при качке ошвартованного судна на волнении (без учета ветра и течения) приближенно определяется как произведение коэффициента жесткости устройства C_o на значение деформации отбойного устройства Δ_z , вычисленное по формуле (Л.1). Полная нагрузка на отбойное устройство в условиях воздействия ветра, течения и волн определяется как сумма нагрузок от ветра и течения (без учета волнения), вычисленных по 6.7, и от навала при пришвартованного судна на волнении.



1 – судно в полном грузу; 2 – в балласте; 3 – порожнее

Рисунок Л.5 – График для определения значений редуционных коэффициентов χ_{η} и χ_{θ}



1 – суда без килей; 2 – со скуловыми килями; 3 – со скуловыми килями и бортовыми гребными винтами

Рисунок Л.6 – График для определения коэффициента динамичности бортовой качки судна k_{θ}

Л.3 Ориентировочные значения усилий в швартовых канатах при качке пришвартованного судна на волнении (без учета ветра и течения) определяется аналогично нагрузкам от навала судна на причал. Удлинение швартовых канатов Δ_z при качке судна на волнении определяется по формулам (Л.1) – (Л.5). Основные отличия в определении усилий в швартовах от определения нагрузок на отбойные устройства связаны с вычислением коэффициента ν по формуле (Л.5) и определением приведенной частоты поперечно-горизонтальных колебаний судна исходя из жесткости швартовых канатов.

Л.4 Для определения волновой составляющей усилия в швартовах при вычислении коэффициента ν по формуле (Л.5) значения l_ϕ и l_θ принимаются равными абсциссе и ординате точки крепления наиболее нагруженных носовых и кормовых прижимных швартовых канатов судна относительно его центра массы. В первом приближении l_ϕ принимается равным половине длины судна между перпендикулярами, а l_θ - разности между высотой борта судна и возвышением его центра массы относительно основной плоскости. При определении приведенной частоты поперечно-горизонтальных колебаний судна коэффициент C_o принимается равным линеаризованному коэффициенту жесткости швартового каната судна C_m , а число n - количеству носовых и кормовых прижимных канатов судна.

Линеаризованный коэффициент жесткости швартового каната приближенно определяется по формуле

$$C_m = N_p k (\Delta l_{\max})^{m-1},$$

где N_p - разрывное усилие каната, Н;

k, m - числовые коэффициенты, принимаемые по таблице Л.4;

$\Delta l_{\max}$ - допускаемое относительное удлинение каната, принимаемое по таблице Л.4.

Л.5 Максимальное усилие в швартовых канатах при качке судна на волнении определяется как произведение удлинения каната, вычисленного по формуле (Л.1) на линеаризованный коэффициент жесткости каната C_m , а полное максимальное усилие в швартовых канатах принимается равным сумме усилий от ветра, течения, определенных по 6.12, и волн. Полная волновая составляющая швартового усилия на швартовый пал причала принимается равной произведению волновой составляющей усилия в канате и количества канатов, заведенных на пал.

Таблица Л.4

Тип каната	Допускаемое относительное удлинение $\Delta l_{\max}$	k	m
Стальной	0,010	22,5	1,0
Капроновый	0,252	1,5	1,46
Нейлоновый	0,226	2,3	1,64
Териленовый	0,156	4,2	1,64
Полипропиленовый	0,163	4,6	1,73
Полиэтиленовый	0,168	6,7	1,97
Куралоновый	0,122	3,4	1,35
Манильский	0,123	27,4	2,24
Сизальский	0,112	28,3	2,16
Пеньковый	0,111	32,0	2,21

Приложение М

Определение энергии навала судна при подходе к причальному сооружению¹

М.1 При определении кинетической энергии E_n , кДж, навала судна на причальное сооружение (рисунок М.1) по формуле (30) нормальная составляющая скорости подхода судна V_n , м/с, принимается по таблице М.1.

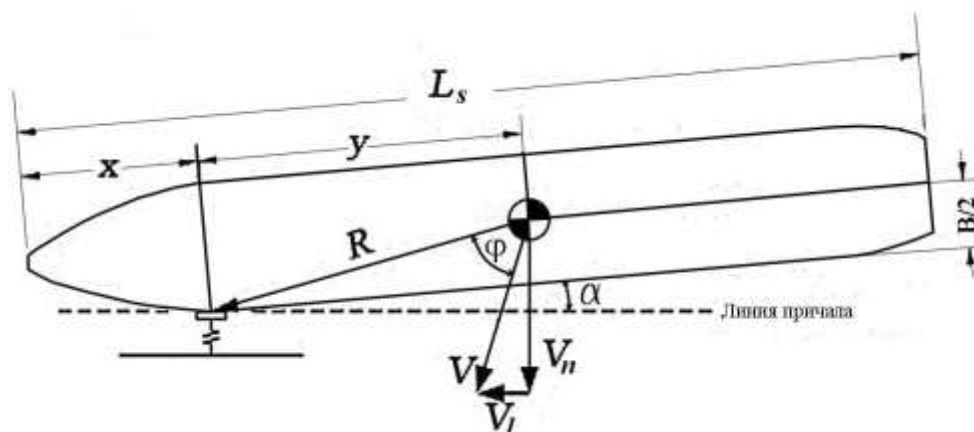


Рисунок М.1 – Схема контакта судна с причалом

Т а б л и ц а М.1

Тип акватории	Условия швартовки	Допускаемая нормальная составляющая скорости подхода судна, V_n , м/с, с расчетным водоизмещением W , тыс.т													
		До 1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	100	200	300	400 и более
Открытая	Сложные	0,87	0,73	0,65	0,60	0,56	0,45	0,36	0,31	0,28	0,26	0,20	0,16	0,14	0,12
	Средние	0,67	0,58	0,52	0,49	0,46	0,38	0,30	0,26	0,24	0,22	0,17	0,13	0,11	0,10
	Простые	0,52	0,45	0,40	0,37	0,35	0,29	0,23	0,20	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,08
Закрытая	Средние	0,34	0,30	0,27	0,25	0,24	0,19	0,15	0,13	0,12	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08
	Простые	0,18	0,15	0,14	0,13	0,12	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
П р и м е ч а н и е – Условия, чаще всего используемые в расчетах, выделены жирным шрифтом. Простые условия учитываются в случае швартовки высокоманевренных судов, имеющих подруливающие устройства и оборудование причала системами контроля швартовки															

Особым случаем является ввод судна в шлюз (док). Взаимодействие судна с направляющими отбойниками (рисунок М.2) должно определяться продольной составляющей скорости $V_l = V \cdot \sin \alpha$.

¹ Составлено с использованием рекомендаций PIANC – Постоянной международной ассоциации конгрессов по судоходству (ПМАКС).

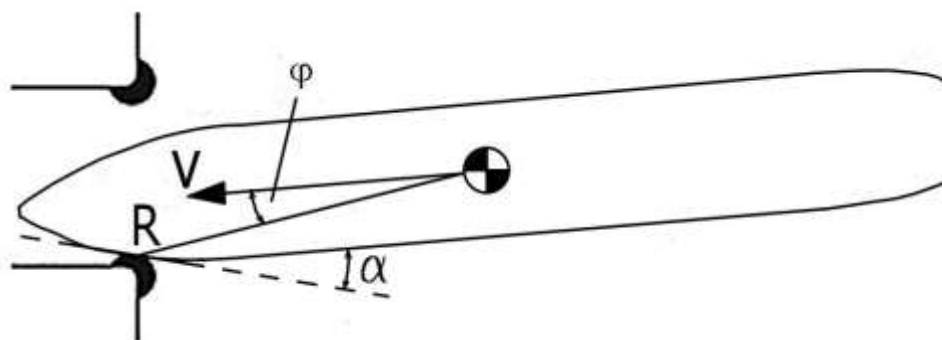


Рисунок М.2 – Схема контакта судна с направляющими отбойниками при входе в шлюз (док)

М.2 Определение коэффициента ψ , учитывающего условия швартовки и конструкции причальных сооружений выполняется по формуле

$$\psi = c_m c_e c_c c_s, \quad (\text{М.1})$$

где c_m – коэффициент присоединенной массы;

c_e – коэффициент эксцентриситета, учитывающий диссипацию энергии при повороте относительно точки соприкосновения с отбойником;

c_c – коэффициент сквозности причала, учитывающий амортизирующие свойства слоя воды между корпусом причалившего судна и причала;

c_s – коэффициент жесткости, учитывающий поглощение части энергии навала за счет упругой деформации отбойных устройств.

М.3 Определение коэффициента c_m присоединенной массы.

В условиях подхода судна к причалу бортом (лагом) (рисунок М.3,а) в зависимости от соотношения осадки судна d_s , м, и глубины воды d , м, следует принимать

$$\begin{aligned} \text{при } d / d_s \leq 1,1 & \quad c_m = 1,8; \\ \text{при } 1,1 < d / d_s < 1,5 & \quad c_m = 2,625 - 0,75d / d_s; \\ \text{при } d / d_s \geq 1,5 & \quad c_m = 1,5. \end{aligned} \quad (\text{М.2})$$

Для условий подхода судна к причалу кормой или носом (рисунок М.3,б) $c_m = 1,1$.

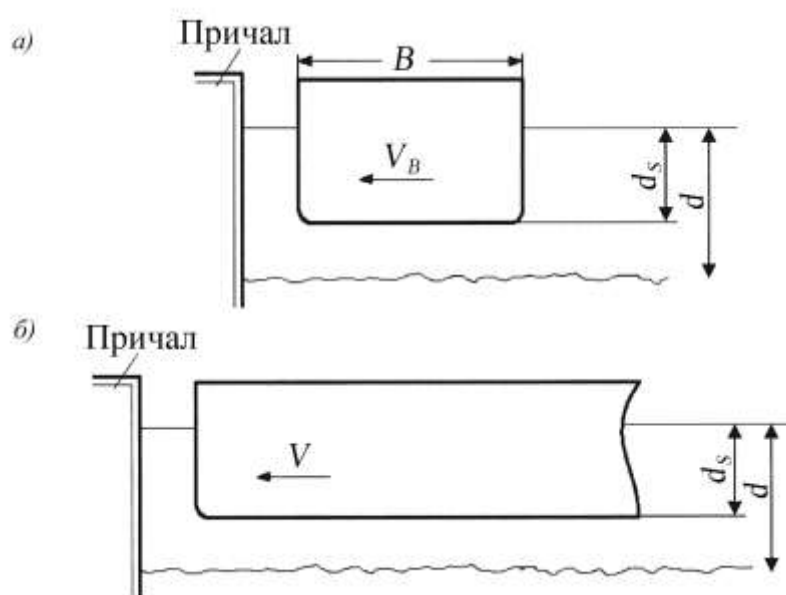
М.4 Определение коэффициента c_e эксцентриситета.

Коэффициент c_e определяется в предположении, что центр массы судна находится в его средней точке по длине (рисунок М.1)

$$c_e = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \varphi}{K^2 + R^2}, \quad (\text{М.3})$$

где R – расстояние, м, от центра массы судна до точки его соприкосновения с отбойником:

$$R = \sqrt{y^2 + (B/2)^2}; \quad (\text{М.4})$$



а – подход бортом (лагом); б – подход кормой или носом

Рисунок М.3 – Схемы подхода судна к причалу

K – радиус, м, кругового движения судна в акватории перед причаливанием:

$$K = (0,19c_w + 0,11)L_s; \quad (\text{М.5})$$

c_w – коэффициент полноты водоизмещения судна

$$c_w = \frac{W}{\rho L_s B d_s}; \quad (\text{М.6})$$

φ – угол, град, между направлением действия скорости V и линией R (рисунок М.1);
при $\varphi < 10^\circ$ принимается $c_e = 1,0$;

W – водоизмещение, т;

L_s – полная длина судна, м;

B – ширина судна, м;

y – расстояние, м, по продольной оси судна от его центра тяжести до точки максимальной кривизны борта в плане (рисунок М.1);

ρ – плотность воды, т/м³.

В первом приближении значения коэффициента c_e при причаливании для трех распространенных случаев швартовки принимается равными:

на четверть длины $\varpi = L_s / 4$ $c_e \approx 0,4 - 0,6$;

на треть длины $\varpi = L_s / 3$ $c_e \approx 0,6 - 0,8$;

в средней точке $\varpi = L_s / 2$ $c_e \approx 1,0$.

М.5. Значение коэффициента c_c сквозности причала (рисунок М.4) принимается $c_c = 1,0$ в случаях:

отдельно стоящих причальных устоев;

сквозных конструкций причала;

при угле причаливания $\alpha > 5^\circ$.

Значение коэффициента $c_c = 0,9$ принимается в случаях:

сплошной конструкции причала;
при угле причаливания $\alpha < 5^\circ$.

М.6 Определение коэффициента жесткости c_s .

Для отбойников, выполненных из малодеформируемых материалов (бетон, дерево, полиэтилен (в виде брусьев), резина толщиной менее 150 мм) следует принимать коэффициент жесткости $c_s = 0,9$.

При применении мягких резиновых (как правило, полых) отбойников (при толщине более 150 мм) $c_s = 1,0$.

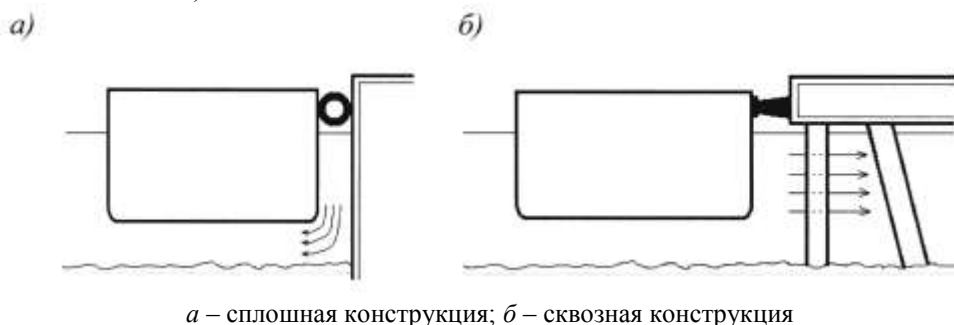


Рисунок М.4 – Типы конструкции причала

М.7 Энергия E_A , кДж, которую должен погасить отбойник, с учетом случайных столкновений, ошибок персонала, неисправностей, комбинации этих факторов определяется по формуле

$$E_A = \gamma_s E_q, \quad (\text{М.7})$$

где γ_s – коэффициент безопасности, принимаемый по таблице М.2.

При наличии на причальном сооружении системы контроля за перемещениями судна и его скоростью коэффициент γ_s принимается равным 1,0.

Т а б л и ц а М.2

Тип судна	γ_s
Танкеры, сухогрузы, грузовые суда водоизмещением менее 20 тыс. т	1,75
более 150 тыс. т	1,25
Контейнеровозы водоизмещением менее 50 тыс. т	2,0
более 150 тыс. т	1,5
Суда с горизонтальным способом погрузки, паромы	2,0
Буксиры, рабочие суда и т.п.	2,0

Приложение Н

Определение усилий в швартовных канатах

Н.1 Формулы, приведенные в настоящем приложении, используются при определении усилий в отдельных швартовных канатах с учетом фактической схемы швартовки судна, углов наклона и длин отдельных канатов.

Н.2 Определение усилий N_i , кН, в отдельных швартовных канатах на тумбы причала, при которых стоянка будет безопасной, вычисляются по формулам:
для носовой и кормовой групп прижимных швартовных канатов

$$N_i = \frac{0,6Q_{tot}}{\sin \alpha_i \cos \beta_i} \cdot \frac{1}{l_i \sum_{j=1}^{n_r} 1/l_j}; \quad (\text{Н.1})$$

для продольных швартовных канатов и шпрингов

$$N_i = \frac{N_{tot}}{\sin \alpha_i \cos \beta_i} \cdot \frac{1}{l_i \sum_{j=1}^{n_r} 1/l_j}, \quad (\text{Н.2})$$

где l_i – длина швартовного конца, в котором действует усилие N_i , м;
 l_j – длины швартовных концов в данной группе, м ($j=1, 2, \dots, n_r$);
 n_r – число швартовных концов в группе;
 α_i – угол между проекцией швартова на горизонтальную плоскость и линией кордона причала (рис.17), град;
 β_i – угол между линией действия силы N_i и ее проекцией на горизонтальную плоскость, град;
 Q_{tot}, N_{tot} – соответственно поперечная и продольная составляющие, кН, от действия ветра и течения, определяемые по 6.2 и 6.3 с учетом экранирующего действия сооружений для различных значений скорости ветра V_w , м/с.

Приложение П

Испытание льда на одноосное сжатие

Отбор, изготовление и подготовка образцов к испытанию

Образцы льда отбираются из N слоев ледяного поля так, чтобы их длинные оси были перпендикулярны направлению роста кристаллов; при этом $N \geq 3$.

Образцы льда изготавливаются в виде призм квадратного сечения или цилиндров круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 2,5. Ширина образца должна не менее чем в 10 раз превышать средний поперечный размер кристалла, определяемый по данным кристаллографического исследования.

Отклонение размеров образцов от средних в серии не должно превышать $\pm 1\%$. Образцы должны иметь гладкую ровную поверхность без трещин, сколов, раковин, заусенцев и других дефектов.

Цилиндрические образцы следует изготавливать на токарном станке, а призматические – на горизонтально-фрезерном станке.

Грани призматических образцов рекомендуется обрабатывать попарно двумя фрезами, установленными на одном валу с расстоянием между ними, равным ширине образца при обработке боковых граней, и с расстоянием, равным высоте образца при обработке опорных граней.

Перед испытанием образцы исследуемого слоя выдерживаются не менее чем 1 ч при температуре слоя t_i , определяемой по опытным данным, а при их отсутствии – по расчетному распределению температуры внутри ледяного покрова.

Оборудование

Испытательные машины должны быть устроены по типу машин с управляемой скоростью деформации. Наибольшая создаваемая машиной нагрузка должна не менее чем в два раза превышать разрушающую нагрузку для испытываемых образцов.

Испытательные машины должны иметь автоматическую запись кривой «нагрузка – деформация» и обеспечивать измерение нагрузки с погрешностью не более $\pm 5\%$.

Проведение испытаний

Образцы сжимаются вдоль длинных осей. Образцы исследуемого слоя испытываются при температуре t_i и постоянной скорости деформации, принимаемой для пресноводного льда равной $\dot{\epsilon}_c = 3 \cdot 10^{-4}$, с^{-1} , а для морского льда – по таблице П.1.

Т а б л и ц а П.1

Температура льда в i -м слое t_i , °C	–2	–10	–15	–23 и ниже
Значение $\dot{\epsilon}_c = 3 \cdot 10^{-4}$, с^{-1}	0,5	1,5	2,0	3,0

Обработка результатов

Разрушающее напряжение (прочность на одноосное сжатие) для каждого образца C_j , МПа, вычисляется по формуле

$$C_j = \frac{(P_{\max})_j}{f}, \quad (\text{П.1})$$

где $(P_{\max})_j$ – разрушающая (пиковая) нагрузка для j -го образца, определяемая по диаграмме «нагрузка – деформация», МН;

f – площадь первоначального поперечного сечения образца, м^2 .

За результат испытания серии образцов исследуемого слоя принимается величина $C_i \pm \Delta_i$,

где C_i – среднее (арифметическое) значение параллельных определений прочности льда на одноосное сжатие, МПа, вычисляемое по формуле

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_j, \quad (\text{П.2})$$

где n – число испытываемых образцов;

Δ_i – обозначение то же, что в 7.4.

Графически результат испытания серии образцов исследуемого слоя изображается точкой и двумя равными отрезками, отложенными вверх и вниз от этой точки; точка соответствует среднему (арифметическому) значению предела прочности льда, а отрезок – среднему квадратическому отклонению случайной погрешности измерений. Указание количества испытанных образцов обязательно.

Примеры графического представления результатов испытаний нескольких серий образцов показаны на рисунках П.1 и П.2.



Рисунок П.1 – Зависимость прочности пресноводного льда на одноосное сжатие (при переходе от пластического разрушения к хрупко-пластическому) от температуры ($n = 5$)

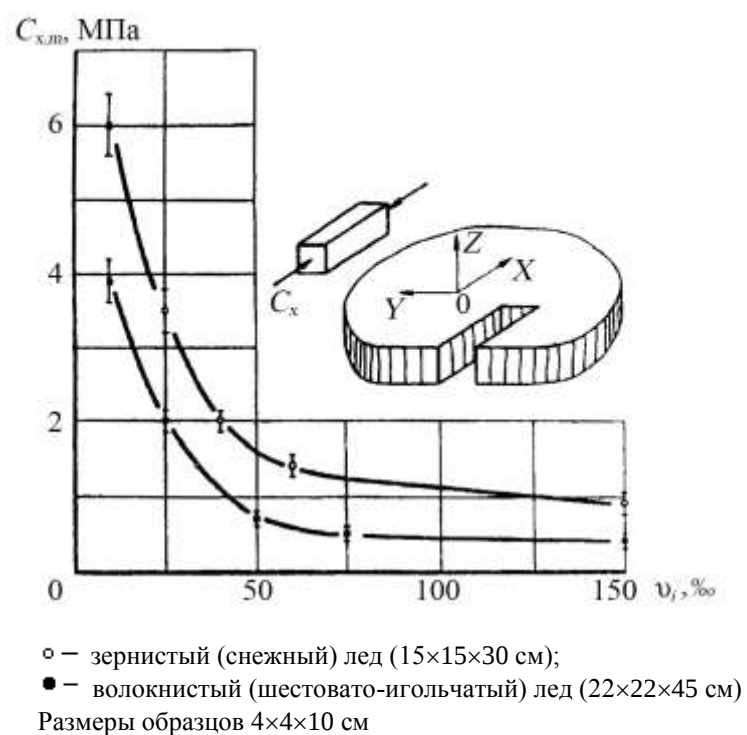
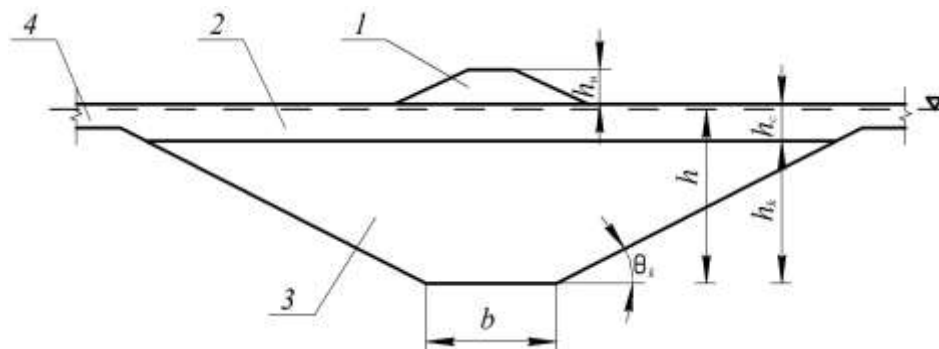


Рисунок П.2 – Зависимость прочности морского льда на одноосное сжатие (при переходе от пластического разрушения к хрупко-пластическому) от количества жидкой фазы ($n=5$)

Приложение Р
(справочное)

Гряды торосов

Однолетние торосы состоят из паруса, консолидированного слоя и киль меньшей прочности. Киль состоит из частично затвердевших ледяных глыб или отдельных глыб с трением только между глыбами. Большая часть консолидированного слоя – это пластины смерзшегося льда. Геометрические формы торосов варьируются. При расчётах может быть принято симметричное поперечное сечение тороса, как показано на рисунке Р.1.



1 – парус; 2 – консолидированный слой; 3 – киль; 4 – ровный лёд;

θ_k – угол киль; h_u – высота паруса; h – заглубление киль; h_c – толщина консолидированного слоя;

h_k – расстояние между нижней частью консолидированного слоя и килем

Рисунок Р.1 – Геометрия однолетнего тороса

Для профиля тороса, показанного на рисунке Р.1, типичные соотношения даны как $h_c = (1,8 - 2,0)h_d$, $h_k = 4,5h_u$ и $\theta_k = 26 - 30^\circ$. Параметр ширины может варьироваться от $b = 0$ до $b = 5h_u$. Пористость киль паруса зависит от возраста ледового тороса и варьируется для различных морских областей. Толщина консолидированного слоя изменяется за время жизни тороса. Пористость киль может изменяться от 0,1 до 0,4.

Верхняя граница оценки для горизонтальной ледовой нагрузки от движущегося тороса, может быть получена из уравнения:

$$F_R = F_c + F_k, \quad (\text{Р.1})$$

где F_c – нагрузка от консолидированной части тороса, определяемая также как в 7.24;

F_k – нагрузки от киль тороса.

Для вертикальных конструкций нагрузка от киль тороса может быть определена как:

$$F_k = \mu h_k b_k \left(\frac{h_k \mu \gamma_e}{2} + 2c_k \right) \cdot \left(1 + \frac{h_k}{6b_k} \right), \quad (\text{Р.2})$$

где μ – коэффициент внутреннего трения;

$$\mu = \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2} \right), \quad (\text{Р.3})$$

φ_k – угол внутреннего трения;

c_k – сцепление (с учётом зацепа) ледяного образования, МПа, определяемое по опытным данным; при их отсутствии принимается $c_k = 0,02 - 0,03$ МПа;

b_k – средняя ширина преграды по фронту в зоне действия ледяного образования, м;

γ_e – эффективная плавучесть, определяемая как:

$$\gamma_e = (1 - n_k)(\rho - \rho_i)g. \quad (P.4)$$

Приложение С

Основные буквенные обозначения

V_w – скорость ветра, м/с;
 η_c – превышение вершины волны над расчетным уровнем, м;
 η_t – понижение подошвы волны от расчетного уровня, м;
 h – высота волны, м;
 λ – длина волны, м;
 $k = 2\pi / \bar{\lambda}$ – волновое число, 1/м;
 T – период волны, с;
 $\omega = 2\pi / T$ – круговая частота волны, 1/с;
 c – скорость волны, м/с;
 h/λ – крутизна волны;
 λ/h – пологость волны;
 h_i, λ_i, T_i – соответственно высота, длина и период волн i -%-й обеспеченности в системе, м;
 $\bar{h}, \bar{\lambda}, \bar{T}$ – соответственно средние высота, длина и период волн, м;
 d – глубина воды при расчетном уровне, м;
 d_{cr} – критическая глубина воды, при которой происходит первое обрушение волн, м;
 $D_{cr,u}$ – глубина воды, при которой происходит последнее обрушение волн, м;
 Q – сила от воздействия волн на сооружение, преграду, кН;
 P – распределенная нагрузка на единицу длины сооружения, преграды, кН/м;
 p – волновое давление, кПа;
 ρ – плотность воды, кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 φ, β – угол наклона откоса (или дна) к горизонту, град;
 R_c – предел прочности льда при сжатии, МПа;
 R_f – предел прочности льда при изгибе, МПа;
 V – скорость движения ледяного поля, м/с;
 h_d – обеспеченная толщина ровного льда, м.

УДК 627.042.8(083.74)

Ключевые слова: гидротехнические сооружения морские, речные, гидротехнические сооружения вертикального откосного профиля, сквозные, берего-укрепительные, нагрузки волновые, ледовые от судов

Генеральный директор

АО "НИЦ Строительство"

А. В. Кузьмин

Руководитель темы,

Советник генерального директора

АО "ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева", к.т.н.

А. П. Пак

Ответственный исполнитель

Вед. научн. сотрудник

А. Б. Векслер