Приложение 1
к приказу ОАО «РусГидро»
от 17.02.2014 № 101

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ ГИДРОГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ-РУСГИДРО»
(ОАО «РУСГИДРО»)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. ПРОПУСК ЛЬДА ЧЕРЕЗ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

СТО РусГидро 02.01.100-2014

Издание официальное

Москва 2014

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а общие положения при разработке и применении стандарта организации – СТО 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Некоммерческим партнерством «Гидроэнергетика России», Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»

2 ВНЕСЁН Департаментом технической политики и методологии стандартизации ОАО «РусГидро» в соответствии с рекомендацией Рабочей группы по техническому регулированию ОАО «РусГидро» (протокол от 03.10.2012 № 53)

3 ПРИНЯТ И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ Приказом ОАО «РусГидро» от 17.02.2014 № 101

4 ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «РусГидро»

Содержание

1 Область применения……... 1
2 Нормативные ссылки…….. 2
3 Термины и определения…….. 3
4 Обозначения …… 4
5 Общие положения……... 8
6 Пропуск льда через суженное перемычками русло реки……... 9
7 Пропуск льда через гребенки бетонных плотин…….. 15
8 Пропуск льда через строительные донные и глубинные водосбросы……..... 17
9 Пропуск льда через обводные каналы и береговые водосбросы 22
10 Пропуск льда через строительные туннели и трубы…….. 24
11 Пропуск льда через водосбросные плотины в период эксплуатации…… 26
12 Пропуск льда и шуги через сооружения на деривации на шугоносных реках и реках с зимними паводками…… 28
13 Борьба с ледовыми затруднениями при пропуске льда через гидротехнические сооружения на стадии строительства и эксплуатации…… 31
Приложение А (справочное) Классификация условий и схем пропуска льда через сооружения гидроузлов с учетом их гидравлических особенностей..... 35
Приложение Б (обязательное) Состав исходных данных для решения задач по пропуску льда (стадия инженерных изысканий)…… 48
Приложение В (обязательное) Назначение ширины суженного русла при пропуске льда через створ сооружения…….…… 50
Приложение Г (обязательное) Разлом льдин на перепаде у входа в суженное русло…….…… 51
Приложение Д (рекомендуемое) Создание дополнительных искусственных перепадов для разлома льда выше по течению…….… 53
Приложение Е (обязательное) Нагрузки от движущегося льда на ограждающие перемычки……..……. 56
Приложение Ж (справочное) Определение характеристик навала льда на сооружения откосного типа …….. 61
Приложение И (обязательное) Общие рекомендации по определению ширины ледосбросного фронта и отдельных его пролетов при пропуске льда через гребенку бетонных плотин …….. 62
Приложение К (обязательное) Разлом льда на гидравлических перепадах перед гребенкой бетонных плотин ……. 65

Приложение Л (обязательное) Нагрузка от движущегося льда на гребенку бетонных плотин …… 67
Приложение М (справочное) Пропуск шуги через глубинные водосбросы……..……. 70
Приложение Н (справочное) Способы остановки льда выше створа сооружений …….……. 72
Приложение П (справочное) Образование ледяных арок – начальный этап остановки льда перед сооружением и начало процесса заторообразования …….……. 75
Приложение Р (справочное) Условия задержки льда в верхнем бьефе сооружения для снижения прочности льда …… 79
Приложение С (справочное) Данные о пропуске ледоходов через сооружения гидроэлектростанций России и СНГ ……. 84
Библиография …… 92

Введение

Стандарт организации ОАО «РусГидро» «Гидроэлектростанции. Пропуск льда через гидротехнические сооружения. Рекомендации для проектирования, строительства и эксплуатации» (далее – Стандарт) разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Стандарт является нормативным техническим документом, устанавливающим требования к мероприятиям, обеспечивающим безопасный пропуск и (или) аккумулирование льда, учет ледовых нагрузок на сооружения водоподводящего тракта, способам и мерам, принимаемым для предупреждения ледовых затруднений, возникающих при пропуске льда.

Стандарт относится к группе стандартов «Процессы жизненного цикла систем», подгруппе «Эксплуатация» (по классификатору, принятому ОАО РусГидро»).

Стандарт дополняет требования в области его применения, изложенные в стандартах организации: СТО РусГидро 02.01.80-2012 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.013-2008 «Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.015-2008 «Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.016-2008 «Здания ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.017-2008 «Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования».

Применение Стандарта совместно с другими стандартами организации ОАО «РусГидро» позволяет обеспечить снижение рисков принятия необоснованных технических решений по преодолению ледовых затруднений в процессе проектирования, строительства и эксплуатации ГЭС, предупреждать вероятный ущерб от повреждения гидротехнических сооружений и механического оборудования.

С Т А Н Д А Р Т О Р Г А Н И З А Ц И И О А О « Р у с Г и д р о »

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. ПРОПУСК ЛЬДА ЧЕРЕЗ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дата введения _____

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт организации (далее – Стандарт) является нормативным документом ОАО «РусГидро» и устанавливает требования к техническим решениям и к мероприятиям, применяемым в процессе проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС и их механического оборудования, обеспечивающим безопасность ГЭС в условиях льдообразования и при пропуске льда.

1.2 Объектом регулирования Стандарта является процесс пропуска льда через створ гидротехнических сооружений (аккумулирования льда в верхнем бьефе) на стадии строительства и эксплуатации и связанные с этим процессом требования к специальным техническим решениям и к мероприятиям, обеспечивающим безопасность сооружений и оборудования при пропуске льда.

1.3 Стандарт предназначен для обязательного применения в ОАО «РусГидро». Дочерние и зависимые общества ОАО «РусГидро» применяют требования Стандарта после утверждения его в качестве локального нормативного документа дочерних и зависимых обществ ОАО «РусГидро» установленном порядке.

1.4 Требования Стандарта обязаны выполнять сторонние организации, выполняющие работы (оказывающие услуги) в области его применения по договорам с ОАО «РусГидро» и (или) с его филиалами, дочерними и зависимыми организациями, если это обязательство отражено в заключаемых с ними договорах.

1.5 Обязательность применения требований и норм Стандарта для всех поименованных выше субъектов ограничена их деятельностью на объектах, расположенных в Российской Федерации, владельцами или инвесторами (застройщиками) которых являются ОАО «РусГидро» и (или) дочерние

зависимые общества ОАО «РусГидро».

1.6 Применение требований Стандарта для целей зарубежной экономической деятельности определяется соответствующим международным соглашением.

1.7 При расхождении требований Стандарта с требованиями нормативной и технической документации, выпущенной до его утверждения, необходимо руководствоваться требованиями Стандарта.

1.8 При введении в действие новых законодательных актов, технических регламентов, нормативных правовых и методических документов, требования которых отличаются от приведенных в Стандарте, следует пользоваться вновь введенными требованиями этих документов до внесения в Стандарт соответствующих изменений.

2 Нормативные ссылки

В Стандарте использованы нормативные ссылки на следующие федеральные законы, законодательные акты, стандарты:

Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»

Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»

Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

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

ГОСТ 3.1109-82* Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий

СТО 17330282.27.010.001-2008 Электроэнергетика. Термины и определения

СТО 17330282.27.140.015-2008 Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования

СТО РусГидро 01.01.78-2012 Гидроэлектростанции. Нормы технологического проектирования

СТО РусГидро 02.01.80-2012 Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования

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

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

П р и м е ч а н и е - При пользовании 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 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 Стандарте применены понятия по Федеральному закону от 27.12.2002 № 184-ФЗ, термины – по ГОСТ 19185-73, ГОСТ 3.1109-82*, СТО 17330282.27.010.001-2008, стандарту [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **альбедо:** Характеристика отражательных свойств поверхности какого-либо тела: отношение потока излучения, рассеиваемого поверхностью, к потоку, падающему на неё.

3.2 **водосброс глубинный:** Водосброс, входное сечение которого расположено ниже уровня свободной поверхности водоема.

3.3 **гребенка бетонной плотины:** Способ возведения бетонной плотины отдельными секциями с разными высотными отметками на промежуточном этапе строительства для пропуска расходов воды и льда в период строительства.

3.4 **густота ледохода:** Отношение площади покрытой льдом водной поверхности ко всей площади водного потока.

3.5 **зажор:** Скопление внутриводного льда, сопровождающееся уменьшением живого сечения и подъемами уровня воды, приводящими к зимним наводнениям.

3.6 **затор:** Скопление льдин в русле водотока во время ледохода, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды.

3.7 **кривая спада:** Уменьшение отметок свободной поверхности по длине водотока.

3.8 **ледосбросные сооружения:** Пролеты водосбросных плотин, гребенки плотин, глубинные водосбросы, береговые водосбросы, суженные участки русел, туннели и иные сооружения, предназначенные для пропуска льда из верхнего бьефа в нижний.

3.9 **ледоход:** Движение льдин и ледяных полей на реках и водохранилищах под влиянием течений.

3.10 **навалы льда:** Нагромождение льдин на берегах и у гидротехнических сооружений под влиянием ветра и течения в период ледохода и при заторах.

3.11 **наледь:** Нарост льда, возникающий при замерзании подземных вод, изливающихся на поверхность земли, или речных вод, выходящих на поверхность ледяного покрова.

3.12 **натасованный лед:** Скопление льдин в несколько слоев, обычно несмерзшихся друг с другом, образующиеся в результате подвижек, разрушения ледяных полей и заторов и подныривания льдин друг под друга.

3.13 **проран:** Часть русла реки, не перекрытая гидротехническим сооружением; служит для пропуска расхода воды и льда при строительстве гидроузла и перекрывается при завершении строительства.

3.14 **сосредоточенный перепад:** Перепад уровней свободной поверхности потока на входе в водопропускное сооружение.

3.15 **суженное русло:** Часть русла, образующаяся при ограждении строительных котлованов перемычками.

3.16 **шуга:** Всплывший на поверхность, образовавшийся в глубине потока переохлажденной воды внутриводный лед и плывущий по поверхности в виде комьев, венков, ковров или скапливающийся подо льдом.

3.17 **шугоход:** Движение шуги по поверхности воды или внутри водного потока во взвешенном состоянии.

4 Обозначения

В настоящем Стандарте применены следующие обозначения:

A - альбедо;

a - высота открытия затвора водосброса, м;

a_1 - превышение отметки гребня шпоры над уровнем воды во время ледохода,м;

a_2 - расстояние от гребня шпоры до точки приложения ледовой нагрузки,

B - ширина реки выше сооружения, м;

B_i - ширина ледосбросного фронта (общая ширина по фронту работающих при пропуске льда пролетов), м;

B_k - ширина подходного участка перед донным отверстием, м;

b - ширина элемента сооружения по фронту на уровне действия льда, м;

b_d - ширина быка, м;

b_c - ширина суженного русла, м;

b_i - ширина отдельных ледосбросных пролетов гребенки, м;

b' - расстояние между осями глубинных водосбросов и осями быков в гребенке плотины в плане, м;

C - коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

C_0 - концентрация ледового материала, %;

c_1 - коэффициент, учитывающий распределение эффективного излучения в атмосферу по широте местности;

c_r - адгезия между обломками льда в подводной и надводной частями тороса, МПа

e - упругость водяного пара, Па;

e_0 - максимальная упругость водяного пара, Па;

F_u, F_b - нагрузка на откос перемычки от надводной и подводной частей ледяного образования, МН;

$F_{h,b}, F_{h,u}$ - горизонтальная составляющая нагрузки от подводной и надводной части ледяного образования, МН;

$F_{h,i}$ - горизонтальная составляющая нагрузки на откос перемычки, МН;

$F_{v,u}, F_{v,b}$ - вертикальная составляющая нагрузки от надводной и подводной части ледяного образования, МН;

$F_{v,i}$ - вертикальная составляющая нагрузки на откос перемычки или другой элемент сооружения, МН;

f - коэффициент трения между льдом и поверхностью передней грани элемента сооружения;

$f_{ё}$ - коэффициент трения между обломками льда;

g - ускорение свободного падения, м/с^2;

H - напор, м;

$H_{ê}$ - предельное заглубление потолка глубинных водосбросов, при котором прекращается подныривание льдин, м;

h - глубина воды, м;

h_c - глубина в сжатом сечении при сужении водотока, м;

h_d - толщина льда, м;

h_s - толщина снежного покрова, м;

$h_ø$ - высота слоя шуги, м;

h_u h_b - высота надводной и подводной части нагромождения обломков льда, м;

$\hat{e}$ - коэффициент, определяемый в зависимости от времени прохождения потоком расстояния, равного характерной длине;

k - коэффициент, учитывающий широту местности;

k_Δ - коэффициент снижения прочности льда после первой подвижки ледяного покрова;

k_p - коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления обломков льда;

k_R - интенсивность понижения прочности льда;

L_Δ - длина навала льда, м;

ℓ, ℓ_1 - длина льдины, длина полос льда, отделяющихся от ледяных полей на гидравлических перепадах уровня воды – на сосредоточенных перепадах и на кривой спада, м;

m - коэффициент формы передней грани элемента сооружения в плане;

n - общая облачность, в долях единицы;

n, n_1, n_2 - коэффициенты шероховатости, дна водотока и нижней поверхности льда;

p - рассеивающий коэффициент не плавно изменяющегося течения;

$Q, Q_з, Q_л$ - расход воды, расходы воды зимний и летний, м^3/с;

$(Q+q)_0$ - суммарная солнечная радиация на уровне воды при альбедо равном нулю, Вт/м^2;

R, R_i - гидравлический радиус русла, он же при наличии ледяного покрова, м;

R_c - прочность льда на сжатие, МПа;

R_f - предел прочности льда на изгиб, МПа;

R_o - прочность льда на момент вскрытия реки ниже сооружений, МПа;

r - удельная теплота фазового перехода, Дж/кг;

ΣS - плотность суммарного теплового потока на верхней и нижней поверхностях ледяного покрова, Вт/м^2;

S_0 - количество поглощенной теплоты, необходимое для полной потери льдом его прочности, Вт/м^2;

S_R - плотность радиационного теплового потока на верхней поверхности льда, Вт/м^2;

T_n, T_ϑ - абсолютные температуры поверхности воды и воздуха, ^{o}С;

t - глубина нижнего бьефа, м;

t_b - температура льда на границе лед- вода ^{o}С;

t_u - температура на границе снег (воздух) – лед, ^{o}С;

V - объем навала льда, м^3;

v - скорость течения воды, м/с;

v_i - скорость движения льдин, м/с;

v_o - скорость течения воды выше сооружения, м/с;

v_{cr} - критическая скорость течения воды, при которой льдины начинают подныривать под преграду, м/с;

z - осредоточенный перепад, м;

Δz - перепад уровней воды, м

$\alpha_в, \alpha_{возд}$ - коэффициент теплоотдачи вода-лед, коэффициент теплоотдачи лед-воздух, Вт/м^2 ^{o}С;

β - угол наклона ледорезной напорной (передней) грани сооружения или его элемента к горизонту, град;

φ - коэффициент сжатия водослива;

λ_i - теплопроводность льда, Вт/(м·К);

λ_s - теплопроводность снега, Вт/(м·К);

μ - коэффициент расхода водослива;

ρ_i - плотность льда, кг/м^3;

ρ_w - плотность воды, кг/м^3;

σ - постоянная Стефана-Больцмана, равная $5{,}77 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4);

τ - время, с;

ω - площадь живого сечения потока, м^2;

ψ_r - пористость нагромождения обломков льда.

ψ_1 и ψ_2 - коэффициенты, учитывающие расстояние между пролетами глубинных водосбросов;

ζ - коэффициент для расчета положения потолка глубинного водосброса

5 Общие положения

5.1 Организация пропуска воды и льда через строящиеся и эксплуатируемые гидротехнические сооружения, расположенные в руслах рек, охватывает существенные периоды их строительства и последующей эксплуатации. Длительные сроки строительства приводят к необходимости пропуска льда через створ сооружения на разных стадиях строительства, что оказывает влияние на планы производства работ и темпы строительства, поскольку к моменту весеннего и осеннего половодий сооружение должно быть готово к пропуску льда.

5.2 Требования и рекомендации Стандарта соответствуют положениям Федерального закона от 21.07.1997 № 117-ФЗ и Федерального закона от 21.12.1094 № 68-ФЗ с учетом возникновения вероятных сценариев пропуска льда через створ гидротехнического сооружения в условиях ледовых воздействий на сооружения и возможных подъемов уровня воды при образовании заторов; соблюдение требований Стандарта обеспечивает снижение рисков принятия необоснованных технических решений при преодолении ледовых затруднений. Практические рекомендации должны способствовать безаварийному пропуску льда с учетом надежной и безопасной работы сооружений.

5.3 Положения настоящего Стандарта обеспечивают надежность и безопасность принимаемых решений в соответствии с СТО 17330282.27.140.015-2008, СТО РусГидро 02.01.80-2012, СП 58.13330.2012.

5.4 Мероприятия по пропуску льда должны быть тесно увязаны с гидравлическими особенностями пропуска воды через недостроенные сооружения, с учетом силового воздействия проходящего через сооружение льда на элементы водопропускного тракта.

5.5 Регламент пропуска льда должен быть подготовлен в составе проектной документации для каждой стадии готовности водопропускных сооружений к моменту пропуска льда при условии обеспечения достаточно развитого ледосбросного фронта в составе проекта организации строительства и уточнен при разработке проекта производства работ.

5.6 Для стадии строительства сооружения в составе проектных материалов должны быть рассмотрены все возможные схемы пропуска льда, приходящиеся на моменты весеннего и осеннего половодья, включая пропуск льда через суженное перемычками русло реки, гребенку бетонных плотин, строительные глубинные водосбросы, обводные каналы и береговые водосбросы, строительные туннели и трубы, через водосливные плотины по

мере их готовности в соответствии с проектом производства работ. Принятые на стадии проекта основные параметры ледосбросного фронта не могут быть изменены в дальнейшем, поэтому все параметры, необходимые для пропуска льда на разных стадиях строительства и эксплуатации должны быть решены на начальном этапе проектирования. Выбор той или иной схемы пропуска льда определяется степенью готовности сооружений, объемом ледового материала выше створа сооружения и величиной приточности в соответствии с моделью пропуска льда и с диспетчерскими графиками наполнения и сработки водохранилищ.

5.7 Для стадии эксплуатации в проектной документации должен быть рассмотрен пропуск льда через поверхностные водосбросы. Для этого при необходимости обеспечивается бесперебойная работа системы обогрева затворов.

5.8 В основе принимаемых решений должны лежать технические предложения, основанные на ледовой гидравлике, учитывающей движение потока и льда, места скоплений и остановок ледового материала, подъемы уровня воды выше заторных скоплений, и учитывающие силовое воздействие льда на ледопропускные сооружения. Это обеспечит надёжность и безопасность принимаемых решений. Должен быть выполнен анализ каждой из схем, представленных в таблице А.1 приложения А применительно к реальному объекту.

5.9 Все элементы сооружений, участвующих в пропуске льда, должны быть устойчивы под действием ледовой нагрузки.

5.10 Применение норм и требований Стандарта должно соблюдаться при проектировании и обеспечиваться на всех стадиях их реализации с учетом соблюдения требований методических указаний [2].

5.11 Состав исходных данных для решения задач по пропуску льда должен быть определен в соответствии с приложением Б, СТО РусГидро 01.01.78-2012 и нормами [3].

5.12 Имеющийся опыт пропуска льда через сооружения на различных стадиях строительства гидроэлектростанций России и СНГ представлен в приложении С. Этот опыт следует использовать при пропуске льда через проектируемые и вновь строящиеся ГЭС.

6 Пропуск льда через суженное перемычками русло реки

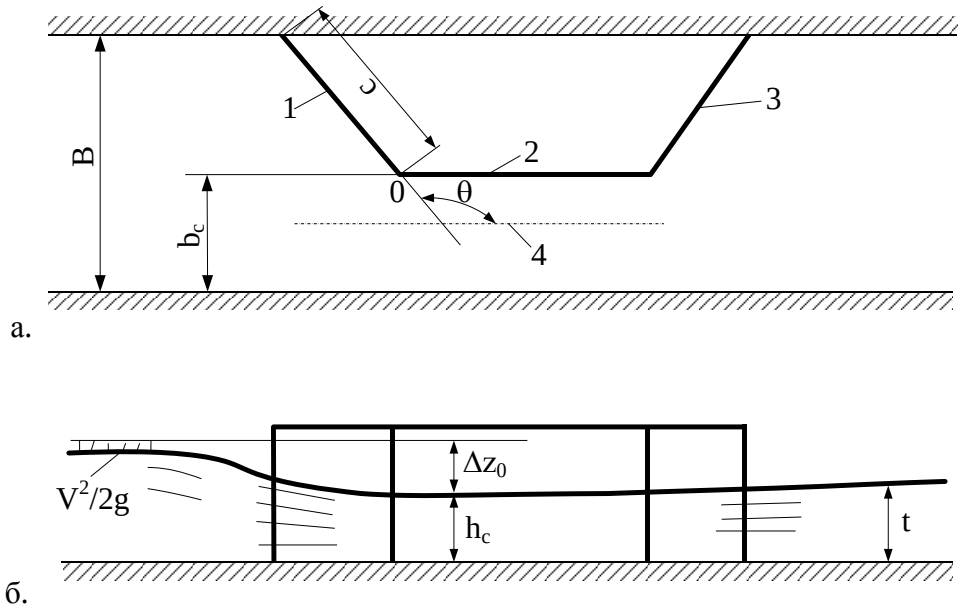
6.1 При пропуске льда через суженное перемычками русло реки на стадии проектирования должны быть решены все вопросы назначения

конструктивных и режимных параметров, а также величин силового воздействия ледовых масс и устойчивости ограждающих котлован конструкций приведенных в методических указаниях [4].

6.2 На стадии проектирования для разработки схемы пропуска льда через суженное перемычками русло реки, показанное на рисунке 1, определяются:

- минимальная ширина сужения для пропуска расчетных максимальных расходов воды при ледоходе определяется по приложению В;

- минимальная глубина в сужении для минимальных расходов воды при ледоходе;



а – план; *б* – продольный разрез;
1 – верховой участок перемычки; *2* – продольный участок;
3 – низовой участок; *4* – динамическая ось потока

Рисунок 1 - Русло, стесненное перемычкой

- минимальная высота перемычек, ограждающих котлован, которая необходима для пропуска максимального расчетного расхода воды при ледоходе без затопления котлована;

- профиль, очертание и размеры перемычек.

6.3 При пропуске через суженное русло следует рассмотреть условия, соответствующие следующим схемам пропуска льда:

Схема 1. Подходящие к сужению ледяные поля имеют ширину большую, чем ширина сужения. На подходе к сужению поля разламываются на отдельные части и беспрепятственно проходят в нижний бьеф.

Схема 2. Подходящие к сужению ледяные поля имеют такое же соотношение размеров к ширине сужения, как в схеме 1, но не разламываются под влиянием гидравлического перепада при входе в сужение. Пропуск льда обеспечивается, если запас кинетической энергии ледяного поля достаточен для разрушения ледяного поля при ударе о борта, ограничивающие сужение. При расчете пропуска льда помимо назначения ширины сужения необходима проверка высоты ограждающих перемычек с учетом прорыва заторных масс льда сверху или образования затора в нижнем бьефе.

6.4 Для осуществления схемы 1 требуется проверка возможности разлома льдин на перепаде уровней у входа в сужение в соответствии с приложением Г.

6.5 Способ создания дополнительных искусственных перепадов для разлома льда выше по течению приведен в приложении Д.

6.6 Для осуществления схемы 2 должна быть назначена высота перемычек, ограждающих недостроенные сооружения. При пропуске льда через суженное русло высота перемычек должна назначаться с учетом возможного повышения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах за счет прорыва заторов на вышерасположенных участках реки или образования зажоров и заторов ниже сужения по течению. Отсыпка ограждающих дамб котлована должна производиться из талого грунта.

6.7 Защита продольного участка перемычки, выполненного из грунта, от динамических воздействий льда достигается выдвижением верхового оголовка перемычки в сторону сужения и путем устройства по длине сужения шпор. Эти шпоры, как правило, устраиваются, если длина сужения больше его ширины. Они располагаются у продольной перемычки в направлении течения. Степень выдвижения верховой перемычки, необходимое количество и размеры шпор, конструкция их крепления и крепления продольного участка перемычки для рек с тяжелыми ледоходами должны устанавливаться на основе опыта эксплуатации аналогичных перемычек, лабораторных исследований или расчетов планов течения в сужении. Минимальную ширину гребня шпоры из грунтовых материалов, необходимую по условиям устойчивости с учетом давления льда, следует устанавливать по номограмме рисунка 2, в которой приняты следующие

обозначения: F_i – ледовая нагрузка на 1 пог. м контакта ледяного поля со шпорой; m_H – заложение верхового откоса шпоры; $a = a_1 + 0{,}3h_d$; a_1 – превышение отметки гребня шпоры над уровнем воды во время ледохода.

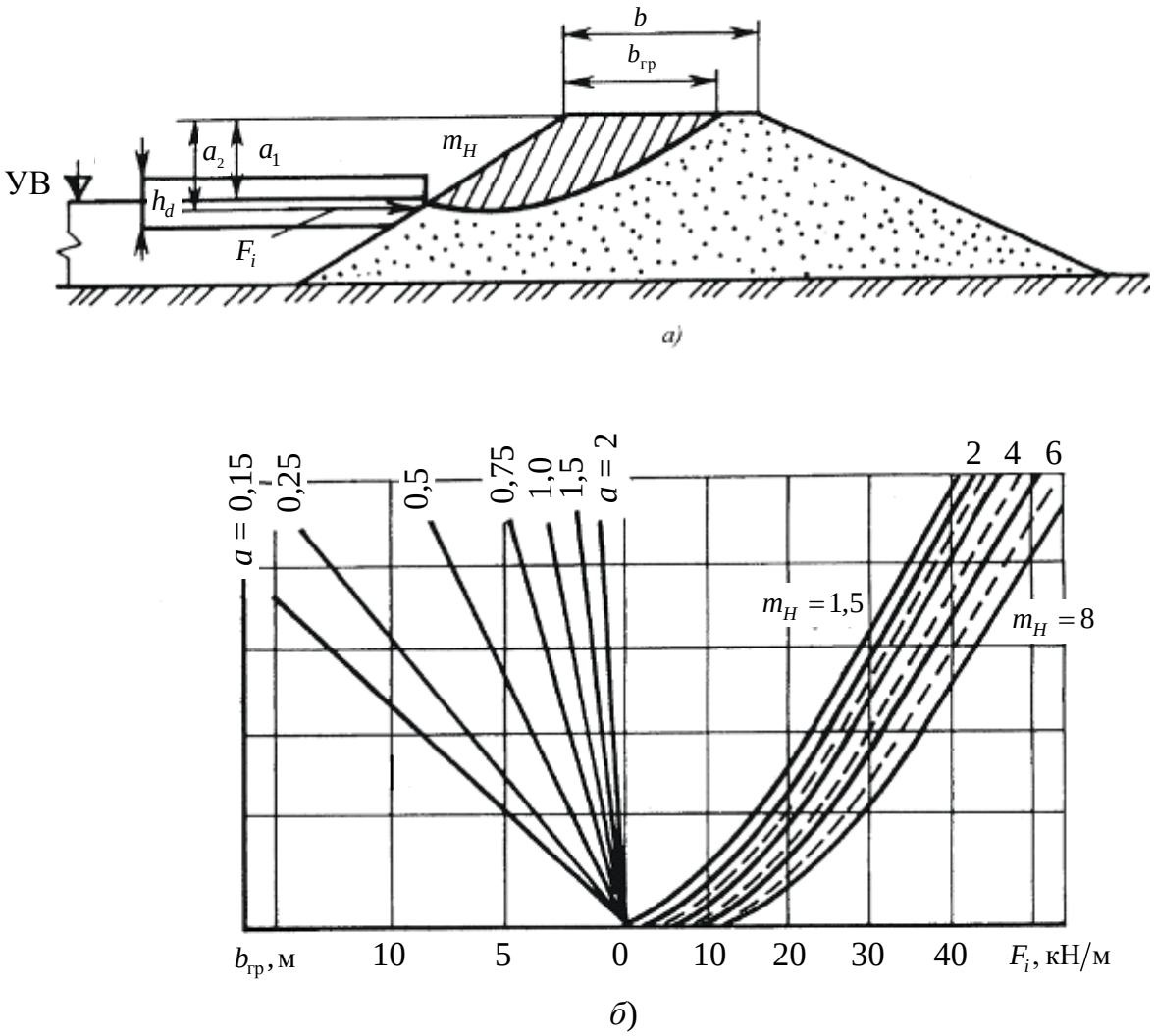


Рисунок 2 - Расчетная схема (а) и номограмма (б) для определения ширины гребня грунтовой шпоры при воздействии льда

6.8 При решении вопросов пропуска льда через суженное русло следует принимать во внимание, что конструкции ограждающих сооружений подвергаются силовому воздействию льда, поэтому на стадии проектирования все ограждающие конструкции должны быть проверены на прочность и устойчивость. Рекомендации по расчету ледовых нагрузок на ограждающие дамбы приведены в приложении Е.

6.9 При выборе профиля и материала напорного откоса верхового участка перемычки следует иметь в виду, что он должен противостоять динамическому воздействию льда при первых подвижках и навалах льда, высота которых на реках с тяжелыми ледоходами может достигать от 10 до 15 м. Тяжесть ледохода оценивается его балльностью, толщиной и прочностью льда. Как правило, это ледоходы свыше 7 баллов при отрицательных температурах воздуха перед вскрытием реки. Значения величины навала льда на сооружения откосного типа следует определять по формулам приложения Ж.

6.10 Конструкция верхового оголовка перемычки должна рассчитываться на восприятие ледовых нагрузок от навала льда. Для защиты оголовков перемычек от динамического давления, возникающего при подвижках и пропуске льда, необходимо их дополнительное усиление с напорной стороны скальной отсыпкой до отметок, превышающих уровни максимальных ледоходов не менее чем на 1 м. Ряжевые оголовки с верховой стороны могут усиливаться обшивкой из металлического листа. Крупность горной массы отсыпки крепления ряжевых или шпунтовых верховых оголовков перемычек на реках с тяжелыми ледовыми условиями должна составлять от 0,5 м до 1,0 м, а ширина этого крепления поверху должна быть не менее 5 м (см. рисунок 3) в соответствии со строительными нормами [5].

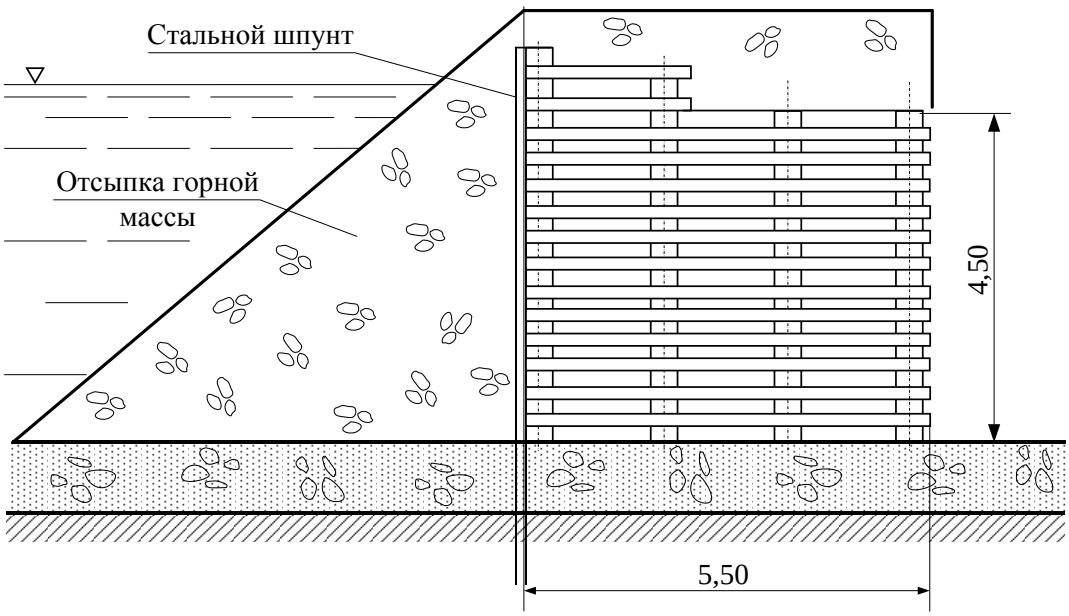


Рисунок 3 - Крепление перемычки горной массой

6.11 При пропуске льда через суженное русло на стадии проектирования учету подлежат ледовые нагрузки на откосы перемычек. Должны быть рассмотрены воздействия на откосы отдельных льдин и нагромождений обломков льда и обеспечена устойчивость сооружений действию нагрузки.

6.12 На стадии строительства должно быть оценено соответствие имеющейся ледовой обстановки условиям, заложенным при проектировании и предусмотрены меры борьбы с возникающими ледовыми затруднениями.

6.13 На стадии строительства для подготовки и обеспечения пропуска льда через суженное во время строительства сооружений русло должна быть выполнена проверка принятых в проекте или на строительстве параметров, а в случае необходимости произведено их уточнение. Уточнению подлежат:

- прогноз паводка и приточности к створу гидроузла;
- объем ледового материала;
- оценка возможности и времени задержки льда в верхнем бьефе;
- ледовый режим ниже сооружения.

При значении ширины суженного русла больше фактической или заданной по проекту для обеспечения пропуска льда необходимо принять меры к его временному задержанию выше сужения. До тех пор, пока прочность и толщина льда не уменьшатся до значений, при которых возможно его разрушение на перепаде до размеров, способствующих пропуску льда через сооружение. Если временное задержание льда невозможно, то для обеспечения пропуска крупных ледяных полей их необходимо разрушить механическим способом (взрывами, с помощью ледоколов и пр.).

6.14 Минимальная ширина суженного русла должна приниматься не менее 30% ширины реки, занятой плывущим льдом в бытовых условиях.

6.15 Глубины потока вблизи фарватера сужения должны обеспечивать пропуск многослойного льда во всем диапазоне расходов ледохода. Для многоводных рек с тяжелым ледоходом эти глубины должны составлять не менее чем 5-6 м.

6.16 При строительстве сооружений крупных гидроузлов на многоводных реках (паводочные расходы свыше 20 000 $м^3/с$) пропуск льда через суженное русло или проран может осуществляться в течение нескольких сезонов, при этом строительная ситуация от года к году изменяется. Для безаварийного пропуска расхода необходимо иметь данные

моделирования процесса пропуска льда и зависимости $Q=f(h)$ для различных вариантов пропуска (здесь h - глубина воды).

6.17 Ниже сооружения, через которое пропускается лед, должна быть обеспечена трасса для дальнейшей беззаторной его транспортировки по нижнему бьефу. Трасса может быть выполнена с использованием взрывов с целью образования канала для пропуска льда, достаточного для размещения объема ледового материала, подходящего к створу гидроузла.

7 Пропуск льда через гребенки бетонных плотин

7.1 Для обеспечения пропуска льда через гребенки бетонных плотин при проектировании необходимо выполнить назначение габаритов основных конструктивных элементов ледосбросного фронта в соответствии с приложением И:

- ширину отдельных пролетов гребенки, предназначенных для пропуска льда;
- общую ширину ледосбросного фронта;
- отношение толщины быков к ширине пролетов в свету;
- форму оголовков быков;
- размеры выдвижения быков в сторону верхнего бьефа от верховой грани сооружения;
- отметку порога и необходимую глубину воды в пролетах гребенки.

7.2 Пропуск льда через гребенки бетонных плотин может иметь следующие разновидности:

Схема 1. Порог пролетов гребенки расположен на уровне дна реки (гребенка с низким порогом), на подходе к гребенке имеется сосредоточенный перепад, где происходит разлом крупных ледяных полей на отдельные льдины, которые в свою очередь дробятся при движении к пролетам под влиянием стоячих волн.

Схема 2. Порог пролетов гребенки возвышается над дном, обеспечивая образование кривой спада на входе в пролет (гребенки с высоким порогом); выдвижение раздельных бычков от верховой грани порога в сторону верхнего бьефа незначительно и не затрудняет разлома на кривой спада подходящих к гребенке крупных ледяных полей на отдельные полосы. На подходе к сооружениям нет участков с сосредоточенными перепадами.

Схема 3. К гребенке с низким порогом вследствие подтопления могут подходить, не разламываясь, крупные ледяные поля. Перед пролетами ледяные поля не ломаются на кривой спада. Пропуск их в нижний бьеф

происходит при условии пониженной прочности льда и достаточном запасе кинетической энергии полей для их раскалывания или прорезания опорами.

Эта же схема может иметь место для гребенок с высоким порогом, если раздельные бычки выдвинуты в сторону верхнего бьефа так, что препятствуют разлому на кривой спада подходящих к пролетам ледяных полей.

7.3 Для схемы 1 необходим расчет разлома ледяных полей на сосредоточенном перепаде выше гребенки, а для схемы 2 – расчет разлома ледяных полей на кривой спада перед входом в пролеты. Для схемы 3 необходим расчет дробления ледяных полей при взаимодействии с раздельными бычками.

7.4 Для разрушения ледяных полей перед гребенкой значение сосредоточенного перепада Δz должно быть не меньше его минимального значения, рассчитанного по формуле (Г.1) (приложение Г). При определении перепада на участке до гребенки необходимо рассматривать случаи ее работы как незатопленного и подтопленного водослива с широким порогом.

7.5 Понижение свободной поверхности выше гребенки по течению при отсутствии ее подтопления со стороны нижнего бьефа необходимо определять на основании зависимостей, представленных в приложении К.

7.6 Вероятность успешного пропуска льда через гребенку бетонных плотин определяется в соответствии с приложением П. Для повышения вероятности успешного пропуска льда через гребенки бетонных плотин применим способ уменьшения размера льдин, заключающийся в установлении перед проблемным участком единичного подтопленного порога (водослива с широким порогом), или их группы. Под влиянием кривой спада над порогами создаются условия для интенсивного разрушения ледовых полей. При использовании группы затопленных порогов-ледобоев (водосливов с широким порогом) целесообразно придерживаться следующей схемы их размещения, как это указано в приложении Д: два водослива располагаются друг от друга на расстоянии в 0,75 интервала восстановления (расстояния кривой подпора за погруженной в поток преградой, обычно от 150 до 300 м), а третий – на дистанции в полтора раза длиннее оговоренного интервала. Подобная схема обеспечивает эффективное разрушение ледовых полей различной прочности и толщины. Увеличение числа порогов повышает общую эффективность мероприятий. Такого же результата можно добиться использованием не разобранных перемычек и банкетов.

7.7 Отметка порога в пролетах гребенки должна быть такой, чтобы глубина воды над порогом обеспечивала свободное прохождение льда в нижний бьеф. Для предотвращения повреждения порога гребенки сбрасываемым льдом минимальное значение напора над его гребнем $H_{мин}$, следует определять по формуле:

$$H_{мин}=1,5h_d+0,2l_1, \quad (1)$$

где l_1 - длина ледяных полос;

h_d - толщина льда, принимается с учетом смерзания льдин в пакеты.

7.8 Низ строений в пролете гребенки для предотвращения повреждения льдом должен возвышаться над поверхностью воды при максимальном расходе ледохода не менее, чем на 3-4 м.

7.9 Все конструкции, входящие в состав ледопропускного фронта при пропуске льда через гребенку бетонных плотин должны быть рассчитаны на воздействие льда в соответствии с приложением Л.

7.10 В качестве подготовки к реализации процессов пропуска льда через гребенку бетонных плотин на стадии строительства необходимо:

- сопоставить условия на момент пропуска льда с данными, заложенными в проекте;
- оценить готовность фронта сооружения, достаточность, ширины ледосбросного фронта, условия гидравлического режима работы сооружения;
- проанализировать изменения температуры воздуха за период, предшествующий ледоходу, оценить запасы холода во льду и изменения прочности льда в период паводка при наличии или отсутствии снега на льду;
- рассмотреть возможность задержки льда или его части в верхнем бьефе;
- оценить объемы заторного льда в верхнем бьефе и возможные расходы ледового материала;
-подготовить русло ниже сооружения для размещения требуемого объема ледового материала.

8 Пропуск льда через строительные донные и глубинные водосбросы

8.1 Для обеспечения пропуска или задержания льда перед донными и глубинными водосбросами в зависимости от гидравлических условий его работы на стадии проекта необходимо назначить или рассчитать следующие параметры:

- предельное заглубление пролетов глубинного водосброса под уровень верхнего бьефа;
- общую ширину ледосбросного фронта;
- размеры выдвижения быков в сторону верхнего бьефа;
- критические скорости течения по условиям подныривания льда.

8.2 Проектирование донных и глубинных водосбросов выполняется для двух основных гидравлических режимов их работы: безнапорный и напорный. В случае безнапорного режима работы, условия пропуска льда через глубинные водосбросы в основном такие же, как и в случае пропуска его через гребенку. Некоторые отличия в работе безнапорных глубинных водосбросов по сравнению с гребенкой могут иметь место при глубинах их наполнения, близких к высоте водосброса. В случае напорного режима при остановке льда у входного сечения может произойти забивка верхней части поперечного сечения, что может привести к резкому росту уровней воды. В зависимости от конкретных условий напорные глубинные водосбросы в эксплуатационном режиме будут являться водосбросным трактом, предназначенным также и для пропуска льда в нижний бьеф в соответствии со схемами, изображенными на рисунке 4.

8.3 При работе донного и глубинного водосброса в напорном режиме льдины, приблизившиеся к водосбросу, могут подныривать в отверстие или оставаться на плаву. Критическая скорость течения воды, при которой льдины начинают подныривать под преграду в виде остановившегося перед плотиной ледяного поля, определяется по формуле:

$$V_{cr} = \sqrt{0{,}035gl}. \qquad (2)$$

Превышение критической скорости вызывает подныривание льда под преграду. Этой преградой может служить не только напорная грань плотины, но и скопление отдельных льдин, которые подныривания друг под друга приближают скопление льда к входу в глубинный водосброс, что усиливает процессы подныривания льда.

Значение предельного заглубления потолка глубинных водосбросов, при котором прекращается подныривание льдин и которое отсчитывается от потолка глубинного водосброса сразу же за скруглением входного оголовка, устанавливается по соотношению:

$$H_k \geq \xi\sqrt{a}, \qquad (3)$$

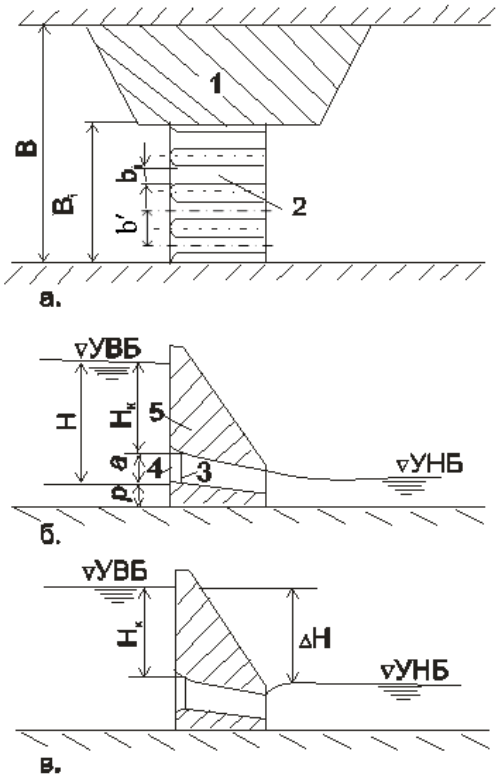
где *a* – высота отверстия глубинного водосброса сразу же за скруглением входного оголовка;

ξ - эмпирический коэффициент, равный обычно 4,0 $м^{0,5}$, а для глубинных водосбросов, выполненных со спаренными входными отверстиями, равный 5 $м^{0,5}$.

Примечания

1 При наличии перед входом в глубинные водосбросы интенсивных вихревых воронок значения $H_к$ необходимо увеличивать в 1,5 раза.

2 Образование вихревых воронок происходит более интенсивно при наличии вынесенных в сторону верхнего бьефа быков и косом подходе потока к сооружению; особенно интенсивные воронки возникают, если выносные быки предусмотрены перед спаренными пролетами глубинного водосброса; условие по формуле (3) справедливо при работе глубинного водосброса полным сечением.



а – план, б и в- разрезы по неподтопленному и подтопленному глубинным водосбросам;
1 – котлован II очереди; *2* – глубинный водосброс; *3* – расчетное входное сечение; *4* – входной оголовок;*5* – бетонная плотина

Рисунок 4 - Схемы работы глубинных водосбросов

8.4 Пропуск льда через глубинные водосбросы, неподтопленные со стороны нижнего бьефа, возможен, если отношение *a/H* больше значения $(a/H)_1$, определенного по формуле:

$$\left(\frac{a}{H}\right)_1 = \psi_1 \psi_2 \frac{a}{H}. \qquad (4)$$

Значения *a/H* в формуле (4) в зависимости от ℓ / H, h_d / ℓ и $b / B_к$ устанавливаются по графикам рисунка 5, а коэффициентов ψ_1 и ψ_2 по данным рисунка 6. В формуле (4) и на рисунках 4, 5 и 6 приняты следующие обозначения: $H = H_к + a$ - напор на входном пороге глубинного водосброса; b и $B_к$ – ширины входного сечения водосброса и части подходного участка, приходящейся на каждый глубинный водосброс (при работе всем фронтом глубинных водосбросов в большинстве случаев $B_к = b'$; b' – расстояние между осями глубинных водосбросов в плане); h_d и ℓ - толщина и длина льдин.

8.5 Возможность подныривания льдин в глубинные водосбросы, подтопленные со стороны нижнего бьефа, можно реализовывать при значениях $H_к$, удовлетворяющих следующему неравенству:

$$H_{\hat{e}} \le \sqrt{\zeta\, a \Delta H} \qquad (5)$$

где ΔH – перепад уровней воды;

ζ - эмпирический коэффициент, равный от 5 до 6 для незатопленного отверстия обычно равный 4,0 (имеет условную размерность $м^{0,5}$).

8.6 При необходимости пропуска через глубинные водосбросы больших объемов льда на реках с тяжелыми ледоходами затопление потолка их входного сечения не должно превышать его высоты, т. е. $H_к \le a$.

8.7 Пропуск шуги через глубинные водосбросы возможен при условии безостановочного движения шуги по длине водосброса. Эти условия будут иметь место тогда, когда относительная толщина слоя шуги $h_ш / H$ при заданном скоростном параметре потока выйдет за границу стабильности ледяных образований, определяемую графиком, приведенным в приложении М.

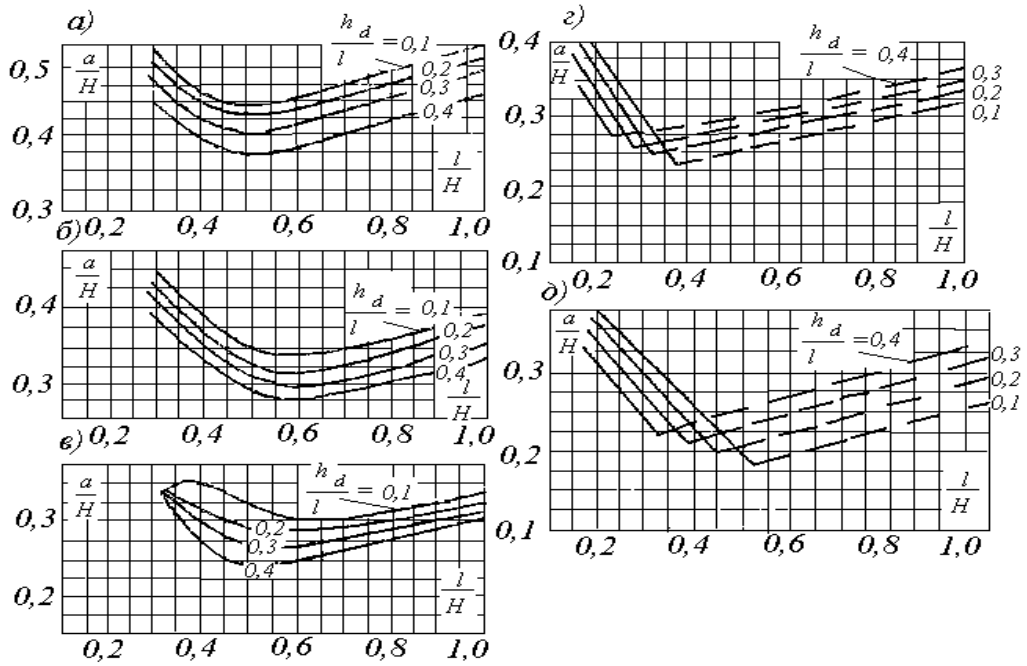
8.8 При пропуске льда через глубинные водосбросы необходимо учитывать ледовые нагрузки на напорную грань плотины и входные оголовки. Для напорной грани плотины возможными являются воздействия

отдельных льдин, тороса, затора и зажора, а для входных оголовков – воздействие затора и зажора.

8.9 Нагрузка от движущейся льдины на напорную грань плотины определяется по формуле (Л.1) (приложение Л).

8.10 Нагрузка от движущегося тороса на напорную грань плотины определяется по приложению Е.

8.11. Нагрузка от движущегося затора на напорную грань плотины и входной оголовок глубинного водосброса определяется по СП 38.13330.2012.



а) – $b/B_к$=0,2; *б)* – $b/B_к$=0,4; *в)* – $b/B_к$=0,6; *г)* – $b/B_к$=0,8; *д)* – $b/B_к$=1,0.

Рисунок 5 - Зависимость для определения возможности пропуска льда через глубинные водосбросы от параметров потока и размеров льдин

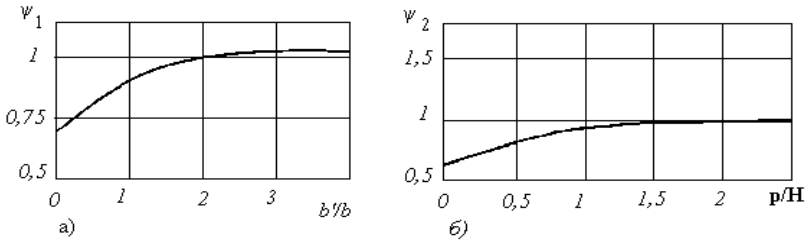


Рисунок 6 - Значения коэффициентов, учитывающих влияние расстояний между пролетами глубинных водосбросов (*а*) и высот их порога (*б*) на возможность пропуска льда

8.12 При реализации пропуска льда для через глубинные водосбросы на стадии строительства необходимо:

- обеспечить задержку льда выше сооружения для снижения прочности льда перед сооружением и облегчения разлома ледяных полей до небольших льдин, способных подныривать в водосбросы следует в соответствии с приложениями Н, К, М, Р;
- уточнить объемы ледового материала, прибывающие к створу сооружения;
- вести непрерывное наблюдение за процессом пропуска льда;
- обеспечить размещение ледового материала ниже сооружения или беззаторный пропуск его по длине нижнего бьефа.

9 Пропуск льда через обводные каналы и береговые водосбросы

9.1 Проектирование обводных каналов и береговых водосбросов должно выполняться с учетом возможности пропуска через них льда. При их проектировании и строительстве необходимо назначить основные ледосбросные параметры:

- общую ширину ледосбросного фронта сооружения;
- минимальную глубину, необходимую для беспрепятственного пропуска льда.

9.2 Обводные каналы должны устраиваться для отвода расхода рек из русла по одному из береговых примыканий либо по речной пойме, каналы могут предусматриваться непосредственно в плотине у одного из берегов.

9.3 Минимальная ширина входного участка канала, предназначенного для пропуска льда должна составлять от 0,16 до 0,20 от ширины реки.

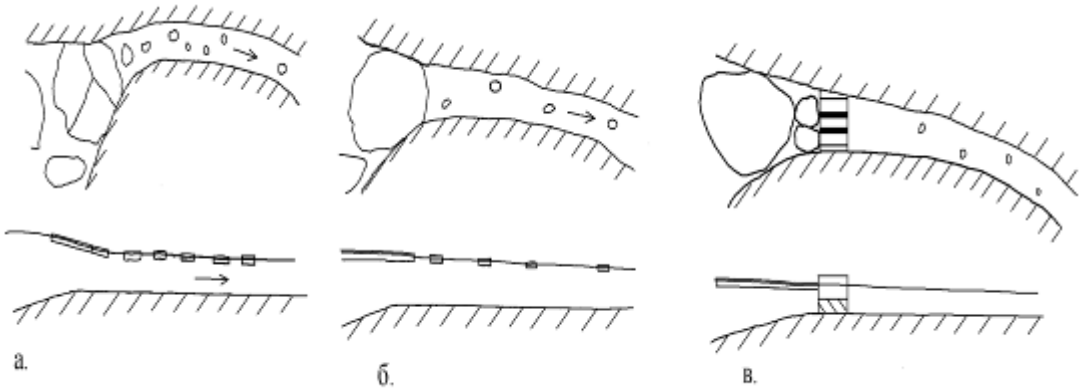
9.4 Глубина канала должна быть достаточной для пропуска натасованного и слоеного льда во всем диапазоне расходов ледохода. Это должно согласовываться с гидравлическими условиями работы обводного канала, схемы которых приведены на рисунке 7.

9.5 Для ответственных сооружений и при сложных очертаниях обводных каналов условия пропуска расходов должны отрабатываться на гидравлических моделях.

9.6 При проектировании пропуска льда через обводные каналы и траншейные водосбросы должны учитываться нагрузки от скопления шуги,

битого и тертого льда на их берега, а также следует принимать во внимание истирающее действие льда.

9.7 При определении пропускной способности каналов и береговых водосбросов в первом приближении можно исходить из рекомендаций [6].



а - течение на входном участке по схеме неподтопленного водослива без порога;
б - течение на входном участке по схеме подтопленного водослива без порога;
в - условия течения при наличии на тракте регулирующего сооружения.

Рисунок 7 - Гидравлические условия работы обводного канала

9.8 Понижение свободной поверхности на входе в каналы и береговые траншейные водосбросы при незатопленном и затопленном режимах истечения можно оценивать по приложению К.

9.9 Минимальный перепад уровней при оценке возможности разлома льдин на входе в канал и береговые водосбросы и длина полос льда, отделяющихся от ледяных полей на перепаде устанавливается в соответствии с приложением Г.

9.10 Минимальную ширину пролетов конструкции, регулирующей расход в канале для обеспечения пропуска льда при известных размерах льдин, следует принимать так же как для отдельных пролетов гребенки бетонных плотин в соответствии с приложением И.

9.11 Скорости течения воды в канале и береговых траншейных водосбросах с учетом необходимых размеров ледопропускного фронта не должны превышать размывающих скоростей.

9.12 Вход в канал должен быть защищен от размывов и разрушения льдом.

9.13 Нагрузки от действия льда на берега обводного канала или другого сооружения, расположенного параллельно течению воды, определяются в соответствии с приложением Е.

9.14 При реализации пропуска льда в строительный период по каналам и береговым водосбросам необходимо организовать безостановочное движение льда по трассе.

10 Пропуск льда через строительные туннели и трубы

10.1 Строительные туннели и трубы предусматривают на стадии проекта для пропуска расходов воды во всем диапазоне их изменения, в том числе паводковых расходов рек. Строительные туннели устраивают в береговых примыканиях плотины, а строительные трубы - у берега или в основании сооружений. На стадии проектирования рассматривают пропуск ледохода непосредственно через эти туннели или трубы, при их совместной работе с другими водопропускными сооружениями строящегося гидроузла, например, при одновременном переливе воды через гребень грунтовых перемычек.

10.2 Условия пропуска льда через строительные туннели или трубы существенным образом определяются гидравлическим режимом их работы и, особенно, режимом на входном участке. Как правило, входной участок строительных туннелей и труб, через которые производится пропуск льда, должен быть запроектирован без порога (заподлицо с дном подводящего канала), а в некоторых случаях их дно располагается даже ниже отметок русла реки.

Оценка условий пропуска льда через строительные туннели и трубы, работающие в безнапорном режиме течения, производится следующим образом:

- в случае, если их входной участок выполнен однопролетным (без быков) - то также как для строительных (обводных) каналов;

- в случае, если на их входном участке предусмотрено несколько пролетов (один-три быка) - как для гребенки с низким порогом или строительного канала с регулирующим сооружением на тракте.

Оценки условий пропуска льда через строительные туннели или трубы, работающие в напорном режиме течения, следует производить аналогично глубинным водосбросам.

10.3 Все элементы тоннелей и труб должны быть устойчивы к различным ледовым воздействиям: от движущейся льдины, от движущихся зажорных масс и проч.

10.4 Нагрузка от движущейся льдины на бык, расположенный на входном участке туннеля или трубы, определяется по формуле (Л.1) (приложение Л).

10.5 При пропуске льда через строительные туннели и трубы с многопролетными входными участками необходимо учитывать ледовые нагрузки на быки. Для быков возможными являются воздействия отдельных льдин и скопления шуги, битого и тертого льда. Опасным для таких сооружений может оказаться истирающее действие льда. Это относится и к сооружениям с однопролетными входными участками.

Нагрузка от движущегося зажора на бык, расположенный на входном участке туннеля или трубы, определяется по СП 38.13330.2012.

10.6 Линейная горизонтальная сила трения от воздействия скопления шуги, битого и тертого льда на стенку туннеля или трубы определяется по формуле (Е.11) (приложение Е).

10.7 В условиях строительства необходимо проверить соответствие параметров запроектированной конструкции реальным условиям стока ледового материала и принять меры для задержки и ослабления льда.

10.8 В условиях строительства при расположении дна входного участка туннелей или труб на отметках дна реки для безопасного пропуска льда должны быть приняты меры по предотвращению заторных подъемов уровней воды ниже этих сооружений.

10.9 Перед пропуском льда через строительные туннели или трубы в ряде случаев следует принять меры для ослабления прочности льда и для разрушения льда, образовавшегося на тракте этих водоводов, и обеспечить технические возможности работы механического оборудования в ледовых условиях.

10.10 Сброс льда через туннели обычно осуществляется после понижения прочности льда. Наличие вихревой воронки перед водоприемником туннеля облегчает пропуск льда.

11 Пропуск льда через водосбросные плотины в период эксплуатации

11.1 На стадии эксплуатации гидравлические условия при пропуске льда через водосливную плотину, общий вид которой представлен на рисунке 8 должны быть такими, чтобы лед не подвергал сооружение частым ударам, чтобы исключалось образование прыжка в пределах сооружения и был обеспечен поверхностный режим сопряжения в нижнем бьефе.

На стадии проектирования должны быть определены значения минимального напора на гребне, необходимого для пропуска льда на указанных условиях. Должны быть рассмотрены вопросы усиления облицовки водосливной грани (на 50-75%) и усиления конструкции водобоя.

11.2 Для пропуска льда через водосливные плотины в период эксплуатации возможны следующие схемы пропуска льда:

- через пролеты, перекрываемые затворами. При сбросе льда затворы подняты на всю высоту или опущены, если это затворы клапанного типа. Ледяные поля разламываются на кривой спада перед пролетами и в дальнейшем при ударе о бычки;

- то же, что и предыдущая схема, но ледяные поля подходят к раздельным бычкам, не разламываясь на кривой спада. Пропуск льда через пролеты обеспечивается после дробления льда при взаимодействии с бычками и под воздействием надвигающихся сверху масс льда;

- через специально устраиваемые береговые пролеты, гребень которых предусмотрен на отметке НПУ, а при повышенной приточности после подъема затворов и через центральные пролеты водосливной плотины, гребень которых выполнен на более низких отметках;

- через глубинные водосбросы;

- через эксплуатационные туннельные и трубчатые водосбросы.

11.3 При пропуске льда через пролеты, перекрываемые затворами, ширина ледосбросного фронта B_i должна составлять 30-45% от ширины подпертого бьефа у плотины B.

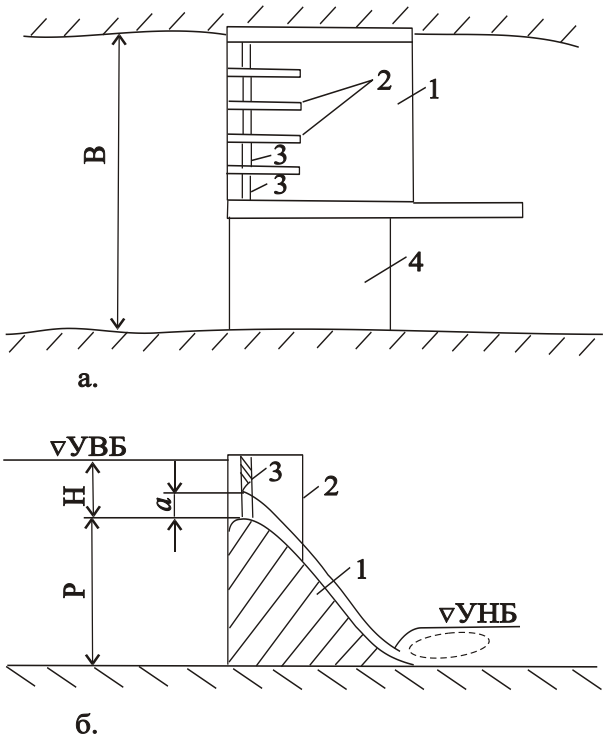
11.4 Ширина отдельных пролетов ледосбросного фронта водосливных плотин b_i должна приниматься:

а) для рек Европейской части РФ - в диапазоне от 10 до 20 м;

б) для рек Сибири и Дальнего Востока - в диапазоне от 18 до 30 м.

При определении размеров пролета должны учитываться требования СП 58.13330.2012.

11.5 Минимальный размер пролета в свету водосливных плотин с вертикальной напорной гранью быков должен определяться по формуле (И.1) (приложение И). Этот размер может быть принят меньшим на 10-20%, если льдины перед водосливной плотиной разрушаются на кривой спада.



а – план; *б* – продольный разрез;
1 – водосливная плотина; *2* – быки;
3 – затворы; *4* – глухая плотина.

Рисунок 8 - Водосливная плотина

11.6 Значение минимального напора $H_{мин}$, необходимого для беспрепятственного пропуска льда при переливе воды через гребень водосливных плотин и затворов, определяется по следующим формулам:

а) при длине льдин $\ell \leq 3h_{d\,макс}$ - $H_{мин} = 1{,}7h_{d\,макс}$, (6)

б) при $\ell > 3h_{d\,макс}$ - $H_{мин} = h_{d\,макс} + 0{,}2$, (7)

где $h_{d\,макс}$ - максимальная толщина льда с учетом смерзания в пакеты.

11.7 Затворы, предназначенные для пропуска льда, должны быть подготовлены к работе в зимний период, должна быть заранее проверена

работоспособность обслуживающих механизмов. Должна быть проверена исправность систем обогрева, указания по расчету систем обогрева приводятся в нормах [7].

11.8 Перед пропуском льда должна быть проведена задержка льда в верхнем бьефе для снижения прочности льда. При прогнозе тяжелого ледохода желательно до начала пропуска льда принять меры по ослаблению прочности льда. К таким мерам относятся зачернение поверхности ледяных полей, устройство прорезей, проведение ледокольных и взрывных работ.

11.9 При пропуске льда через поверхностные водосбросы необходимо обеспечить достаточный слой воды над порогом водосброса. Открытие затворов должно составлять от 0,2 до 0,4 H ,где H - максимальный напор на водосливе.

11.10 Конструкции разделительных бычков на водосбросе должны быть рассчитаны на максимальную нагрузку при прорезании подходящего к ним льда.

12 Пропуск льда и шуги через сооружения на деривации на шугоносных реках и реках с зимними паводками

12.1 На стадии проектирования должна быть разработана трасса пропуска расхода воды для безостановочного движения шуги. Режим работы дериваций гидроэлектростанций в период шугохода должен обеспечивать непрерывное течение воды без образования зажоров, перекрывающих полностью живое сечение каналов. В зависимости от местных условий режим канала должен либо обеспечивать транзит шуги вдоль всей трассы, либо одновременно допускать ее частичное аккумулирование. Допускается накапливание шуги в отстойниках (с последующим промывом) и в бассейнах суточного регулирования. При подготовке каналов к эксплуатации в шуготранзитном режиме должны быть удалены устройства, стесняющие течение (решетки, запани и т. п.).

12.2 На стадии эксплуатации должны быть выполнены следующие мероприятия:

- проверка готовности к действию затворов, предназначенных для работы в зимний период, и механизмов, их обслуживающих, а также исправности уплотнений;
- проверка готовности шугосбросных устройств, решеткоочистительных механизмов;

- проверка действия воздухообдувной сети или потокообразователей (при их наличии);

- проверка исправности устройств для обогрева и утепления затворов, решеток, пазов, закладных частей и механизмов подъема в соответствии с нормами [7];

- подготовка и проверка утепления аэрационных устройств, уравнительных резервуаров (башен), крышек дренажных люков, измерительных устройств и смотровых колодцев;

12.3 Для предотвращения шугообразования в период ледостава необходимо выполнение мероприятий, способствующих ускорению образования льда.

12.4 Борьба с шугой должна вестись следующими способами:

- аккумуляция шуги в верхнем бьефе и в водохранилище с целью создания благоприятных условий для быстрого льдообразования при приближении температуры воды к минусовым значениям;

- сброс шуги с помощью специальных шугосбросных устройств и водосбросных сооружений. При этом транспортирующая скорость воды в водопроводящих трактах должна быть достаточной для обеспечения транзита шуги и предотвращения возможности забивки тракта;

- сброс шуги через гидротурбины с частичным или полным удалением решеток при возникновении угрозы забивки шугой решеток и образования перепадов, превышающих проектные величины (при техническом обосновании в каждом случае) для обеспечения бесперебойной работы системы технического водоснабжения в соответствии с правилами [8];

- установка в зимний период специальных решеток с большими пролетами между стержнями.

12.5 В период ледостава, при снижении температуры воздуха ниже 0°С и охлаждении воды ниже +1°С, необходима организация непрерывного контроля за температурой воды на водозаборе для установления момента ее переохлаждения. Для обнаружения появления шуги целесообразно использование шугосигнализаторов.

12.6 Электрообогрев решеток необходимо включать при обнаружении первых признаков шугообразования при температуре воды, поступающей к решеткам, ниже +0,1°С с целью недопущения намерзания льда. Для предотвращения забивки решеток шугой и плавающим льдом может быть использовано решеткоочистное оборудование; основная масса шуги должна быть пропущена через гидротурбину в соответствии с правилами [8].

12.7 При использовании отстойника головного узла для сброса шуги необходимо тщательно следить за толщиной шугового слоя, оставляя нижнюю треть камеры свободной от шуги для предотвращения полного промерзания камеры отстойника на всю глубину и невозможности дальнейшего промыва.

12.8 Камеры отстойника должны тщательно промываться с достаточным отгоном шуги в нижний бьеф во избежание закупорки отверстий грязеспуска со стороны нижнего бьефа.

12.9 При исчерпании или недостаточной аккумулирующей способности верхнего бьефа головного узла в целях экономии расхода воды и поддержания нормальных режимов работы ГЭС транзит шуги может осуществляться путем обеспечения беспрепятственного движения шуги в пределах сооружений головного узла и деривационного тракта, для чего необходимо выполнить следующие мероприятия:

- ГЭС должна быть, по возможности, выведена из работы в пиковом режиме;
- все препятствия, мешающие плавному и равномерному движению шуги, должны быть устранены;
- должны быть обеспечены скорости течения воды, транспортирующие шугу вдоль всей трассы посредством снижения уровня воды в верхнем бьефе и в деривационном канале;
- для предупреждения образования зажоров в деривационных сооружениях и/или напорных водоводах (в период прохождения шуги) в напорном бассейне должен поддерживаться уровень воды на отметках, обеспечивающих равномерный режим работы всего канала и работу шугосбросных отверстий;
- при прохождении через отстойник шуга должна пропускаться через приспособленную для этого камеру. При больших пропускаемых расходах возможно использование двух камер. Затворы и решетки зимних камер отстойника должны быть полностью извлечены из воды; пропуск шуги через дюкеры должен осуществляться при скоростях течения воды, обеспечивающих транзит шуги, в соответствии с приложением М.

12.10 В местной инструкции должны быть указаны места на деривационном тракте, где могут образовываться забереги, для своевременного скалывания льдин в целях предупреждения увеличения их толщины в соответствии с СТО РусГидро 02.01.80-2012.

12.11 На реках с зимними паводками должен быть определен объем ледового материала на вышележащих участках реки, возможности задержки его выше сооружения, степень готовности ледосбросного фронта к пропуску льда, работоспособность затворов в условиях отрицательных температур, подготовка нижнего бьефа для размещения ледового материала.

13 Борьба с ледовыми затруднениями при пропуске льда через гидротехнические сооружения на стадии строительства и эксплуатации

13.1 Для улучшения условий пропуска льда на реках с тяжелыми ледовыми условиями створ гидроузла должен, по возможности, располагаться на прямолинейном участке реки, в этом случае ледосбросные сооружения размещаются в стрежневой части реки. При криволинейном участке реки перед сооружениями ледосбросы целесообразно размещать у вогнутого берега, где происходит наиболее интенсивное движение льда в период ледохода.

13.2 Для обеспечения условий движения льда к сооружениям целесообразно производить:

- отделение ледяного поля, находящегося в тупиковой зоне (выше верховой перемычки) от ледяного покрова, находящегося в зоне движения льда (против водосбросных пролетов);
- искусственное разрушение ледяных полей в верхнем бьефе до подхода их к сооружениям, если отсутствуют сосредоточенные перепады или кривая спада со значительным перепадом уровней воды перед гребенкой.

13.3 В случае недостаточных размеров ледопропускных пролетов, отсутствия или небольшого опыта пропуска льда через ледосбросы необходимо проведение дополнительных мероприятий по обеспечению успешного пропуска льда. Эти мероприятия должны быть направлены на увеличение срока задержки начала ледохода перед сооружениями, на ускорение снижения толщины и прочности льда или на уменьшение размеров льдин, на пропуск льда без образования арок и заторных скоплений. Образование ледяных арок – начальный этап остановки льдин перед сооружением и начало процесса образования заторов в соответствии с приложением П. В отдельных случаях возможно использование локальных средств, облегчающих продвижение льда через сооружение и снижающих силовое воздействие льда.

13.4 В качестве локальных средств, позволяющих обеспечить дополнительный разлом льда или снизить его силовые воздействия, следует использовать специальные конструкции, приводящие к желаемому результату в каждом отдельном случае создания искусственных перепадов уровня с помощью дамб, банкетов, ледобоев (приложение Д). Такие конструкции разработаны для разлома льда на искусственных перепадах уровня, для снижения ледовых воздействий на опоры линий электропередач.

13.5 Ускорение вскрытия может быть достигнуто разделением ледяного покрова на карты. Разделенный на карты ледяной покров при первом повышении уровней воды и скоростей течения в реке взламывается и сносится вниз по течению, открывая возможности беззаторного пропуска поступающих с верховьев масс льда. Механическое разделение льда на карты производится ледорезными машинами без сквозного прорезания льда на всю толщину ледяного покрова. Направление ледорезных трасс устанавливается в зависимости от направления трещин, возникающих в ледяном покрове при подвижках и в начале ледохода. Ледяной покров целесообразно разрезать в направлении затруднительном для естественного разрушения льда. На реках ледяной покров при подвижках разрушается в направлении поперек реки, поэтому разрезание ледяного покрова производить по трассам, ориентированным вдоль реки. Количество продольных ледорезных трасс может быть назначено от одной до трех по ширине реки. Ледяной покров разрезается основной продольной трассой, расположенной посередине реки или в пределах судового хода. На водохранилище ледорезные работы лучше производить по трассам, ориентированным в двух взаимно перпендикулярных направлениях в соответствии с рекомендациями [9].

13.6 При небольшой площади водохранилища для предотвращения возможного образования затора выше гидроузла и улучшения условий движения льда в районе выклинивания кривой подпора ледяной покров в водохранилище целесообразно разрушать ледоколами или разрезать ледяной покров на карты. Такое разрушение следует производить по всей площади водохранилища или с образованием продольной полосы для создания канала в ледяном покрове, по которому битый лед проходит к гидроузлу и сбрасывается в нижний бьеф.

13.7 Стратегия пропуска льда по нижнему бьефу ГЭС должна учитывать географическое положение водотока и направления течения. На реках, текущих к югу сброс льда происходит при более раннем вскрытии нижележащих участков реки и, как правило, более безопасен с точки зрения

образования заторов. На реках, текущих на север, участки нижнего бьефа закрыты прочным льдом. При пропуске льда ниже ГЭС в этом случае должны быть приняты меры для подготовки акватории к размещению сбросных объемов льда.

С целью предотвращения образования затора в нижнем бьефе, ухудшающего пропуск льда через сооружения, целесообразно выполнять такие мероприятия по ускорению вскрытия реки в нижнем бьефе, как разрушение льда взрывами, ледоколами или устройством прорезей, которые в результате таяния льда создадут канал для пропуска воды и льда из верхнего бьефа.

13.8 Для облегчения пропуска заторного льда через гидротехнические сооружения целесообразно движущийся по водохранилищу заторный лед временно посадить на мелководных участках, снизив для этого уровень воды. После подтаивания и разрыхления такой лед легче пропускается через гидротехнические сооружения.

13.9 К моменту пропуска льда через створ плотины должна быть обеспечена маневренность затворов в ледосбросных пролетах. Учитывая это, затворы и закладные части должны быть снабжены установками для обогрева в соответствии с нормами [7]. Наледи у затворов в местах протечек к моменту пропуска льда должны быть удалены. При решении вопроса пропуска льда через гидротехнические сооружения, прежде всего, должен быть выполнен всесторонний анализ ледовых условий реки с целью выяснения возможностей регулирования ледохода с учетом морфологических особенностей реки (пороги, острова, излучины и т. п.) и вышерасположенных водохранилищ, позволяющих производить изменение попусков воды в предледоходный и ледоходный периоды.

При больших объемах льда выше сооружения целесообразно провести работу по задержанию вскрытия льда на притоках или по образованию искусственных заторов льда, удерживающих определенное количество льда выше затора в соответствии с приложением Н.

13.11 Взрывные работы при пропуске льда применяют для раскалывания крупных ледяных полей, для облегчения пропуска заторного льда и для очистки определенного размера акваторий, предназначенных для приема сплавляемого через сооружение льда.

Взрывные и другие работы по разрушению ледяного покрова и затора производят в соответствии с рекомендациями [9].

13.12 Пропуск льда через гидротехнические сооружения в строительный и эксплуатационный периоды следует предусматривать, когда скорость течения в верхнем бьефе достигает значений, способных создать подвижку ледяных полей на прилегающем к плотине участке длиной от 5 до 10 км и шириной реки B после отрыва льда от берегов.

13.13 Для снижения прочности льда в период, предшествующий пропуску льда через сооружение целесообразно использовать метод зачернения поверхности льда темными пылевидными материалами. Применение радиационного метода ведет к поглощению солнечного тепла зачерняющими материалами и к таянию ледяного покрова.

13.14 Пропуск льда через сооружения не является обязательным, если средние скорости потока менее 0,4-0,5 м/с.

13.15 В случае недостаточной готовности ледосбросного фронта к моменту пропуска льда работы по пропуску льда следует производить с помощью обводных каналов или туннелей.

13.16 Чтобы избежать незапланированного подъема уровня воды при пропуске льда через глубинные строительные водосбросы, методика пропуска должна быть отработана на гидравлических моделях.

13.17 Пропуск льда через туннельные и трубчатые водосбросы должен осуществляться совместно с другими водо- и ледопроводящими трактами.

Приложение А
(справочное)

Классификация условий и схем пропуска льда через сооружения гидроузлов с учетом их гидравлических особенностей

А.1 Условия ледохода полностью определяются гидравлическим режимом на следующих участках русла реки и сооружений:

- верхний бьеф на участке, примыкающем к сооружениям;
- подходной участок (канал);
- водопропускные сооружения;
- отводящий участок (канал);
- нижний бьеф.

В пределах каждого сооружения следует различать входной участок, тракт сооружения, его выходной участок. На входном участке сооружений скорости течения существенно возрастают, а на выходном могут значительно уменьшиться. В отдельных конкретных сооружениях некоторые из этих участков могут отсутствовать или совмещаться.

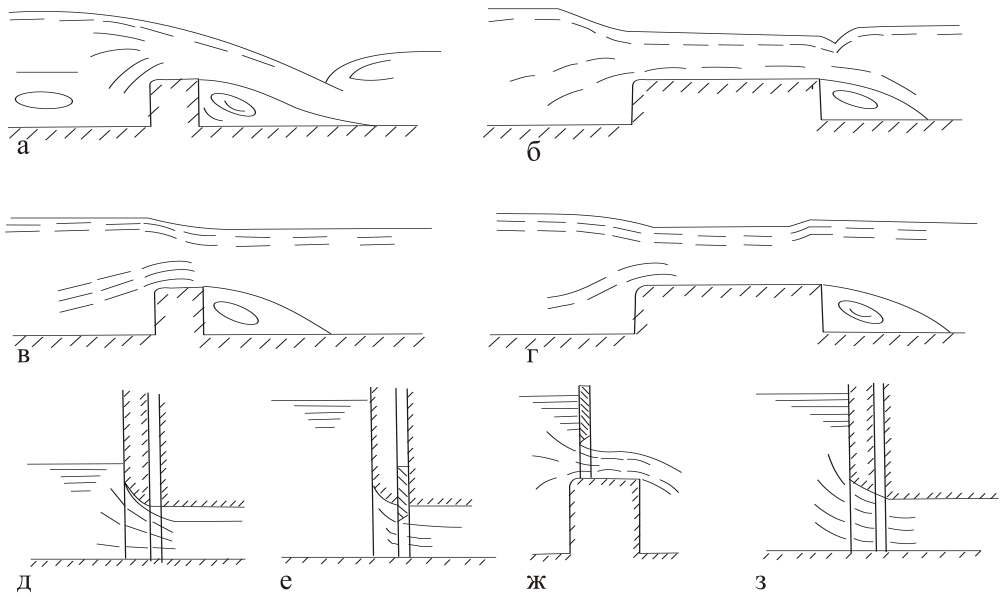
При рассмотрении режимов прохождения льда необходимо учитывать условия истечения через водопропускные сооружения, схемы которых представлены на рисунке А.1.

А.2 Непосредственный пропуск льда следует осуществлять, как правило, на начальных этапах строительства гидроузла через стесненное перемычками русло или через гребенку с низким порогом, через гребень перемычек или строящейся нижней части плотины или при эксплуатации сооружений, работающих с относительно небольшим перепадом бьефов. Такой пропуск льда может применяться в некоторых случаях при значительном перепаде бьефов и малой интенсивности ледохода, когда размеры и толщина, а также прочность льдин невелики.

А.3 Гидравлические параметры работы водопропускных сооружений при той или иной схеме истечения должны устанавливаться на основе методов расчета, приведенных в рекомендациях [6].

Условия транспорта льда при различных схемах его пропуска определяются:

- расходами воды в ледоход;
- значениями поверхностных скоростей течения и их направлением относительно сооружений;
- глубинами потока на подходе к сооружениям и в их пределах;
- напором на гребне водослива;
- заглублением потолка глубинных трубчатых водосбросов и туннелей под уровень верхнего бьефа;
- состоянием свободной поверхности потока перед сооружением (формой кривой свободной поверхности, наличием остановившихся волн);
- возникновением вихревых воронок на входе в сооружение.



а – незатопленное истечение через водослив со стенкой практического профиля; б – незатопленное истечение через водослив с широким порогом; в – затопленное истечение через водослив со стенкой практического профиля; г – затопленное истечение через водослив с широким порогом; д – безнапорный закрытый водосброс с затопленным входом; е – безнапорный закрытый водосброс с истечением из-под затвора; ж – водослив с истечением из-под затвора; з – закрытый водосброс с напорным режимом течения.

Рисунок А.1 - Схемы истечения при пропуске льда через водопропускные сооружения

А.4 Схемы пропуска расходов зависят от района расположения гидроузла, типа, состава и компоновки его сооружений, стадии строительства и режима эксплуатации. Основные схемы пропуска ледохода через сооружения гидроузлов и их гидравлические особенности приведены в таблице А.1 (приложение А).

А.5 Пропуск льда через суженное русло реки. Для этой стадии строительства гидроузлов при пропуске льда через стесненное перемычками русло наблюдаются гидравлические условия истечения, характерные для водослива. Такие гидравлические условия работы сооружения, как правило, относятся к водосливам без порога, которые в свою очередь являются разновидностью водослива с широким порогом. В зависимости от степени стеснения русла перемычками и природных условиях реки (расход, уклон реки и т.п.) на участке суженного русла может устанавливаться неподтопленный и подтопленный режим истечения.

В случае неподтопленного режима истечения у входа в суженный участок русла наблюдается водопадная область, в которой поток из спокойного состояния переходит в бурное. В этой области с сосредоточенным на короткой длине перепадом уровней воды ледяные поля, имеющие ширину большую, чем ширина сужения, разламываются на части и беспрепятственно проходят в нижний бьеф сооружения. При подтопленном режиме истечения перепад уровней воды на входе в сужение невелик. В этом случае пропуск ледяных полей с шириной больше ширины сужения русла может быть обеспечен, если

кинетическая энергия льдин достаточна для их разрушения при ударах о перемычку и борта, ограничивающие это сужение.

А.6 Пропуск льда через гребенки строящихся бетонных плотин. Для этой схемы пропуска льда следует различать два случая конструкции гребенки и два вида гидравлических режимов на подходе к гребенке: с существенным перепадом непосредственно перед гребенкой или без перепада. Порог гребенки может располагаться непосредственно у дна реки - «гребенка с низким порогом». Гидравлические условия ее работы отвечают случаю истечения через водослив с широким порогом. Если истечение через такую гребенку является неподтопленным, то на входе у сооружения образуется водопадная область со значительным перепадом уровней, на котором происходит разлом крупных ледяных полей. При подтопленном истечении через гребенку с низким порогом пропуск крупных ледяных полей возможен лишь при их низкой прочности и запасе кинетической энергии льдин, достаточном для их раскалывания или прорезания быками.

Гребенка с высоким порогом в большинстве случаев работает при неподтопленном режиме истечения как водослив со стенкой практической профиля или как водослив с широким порогом. На подходе к такой гребенке ледяные поля разрушаются в пределах водопадной области у сооружения.

В некоторых случаях верховой оголовок быков гребенки по тем или иным причинам смещают за пределы ее напорной грани в верхний бьеф. В этом случае даже при неподтопленном режиме истечения через гребенку условия пропуска льда через сооружение могут существенно ухудшиться, так как водопадная область может образовываться лишь между быками, а это в существенной мере затруднит разрушение крупных ледяных полей.

А.7 Пропуск льда через глубинные трубчатые водосбросы существенным образом определяется гидравлическим режимом их работы. Условия пропуска льда через безнапорные трубчатые глубинные водосбросы полностью аналогичны пропуску льда через гребенку бетонной плотины.

При пропуске льда через глубинные трубчатые водосбросы с затопленным входом сосредоточенный перепад перед сооружением отсутствует, дробление льдин происходит при их ударе о быки, под влиянием вихревых воронок и под напором надвигающихся с верхнего бьефа масс льда. Через глубинные водосбросы проходит лишь ослабленный раздробленный лед; его пропуск происходит более успешно, если перед входными оголовками глубинных водосбросов образуются вихревые воронки. Вихревые воронки возникают перед входом сооружения при наличии выдвинутых вверх по течению быков и косом подходе потока к водосбросам.

При опасности забивки льдом глубинных водосбросов и необходимости предотвратить через них пропуск льда прибегают к повышению уровня верхнего бьефа таким образом, чтобы избежать подныривания льдин. Для этого уменьшается пропускная способность водосбросов либо за счет полного закрытия затворами части пролетов, либо при частичном открытии затворов.

Аналогично частичное открытие затворов может использоваться в случае необходимости задержки льда при пропуске расходов через любые поверхностные водосбросы, например, водосливные плотины.

А.8 Пропуск льда через береговые водосбросы, выполненные в виде каналов, быстротоков или туннелей определяется гидравлическими условиями при различных схемах пропуска льда, показанных на рисунке А.1. Подходной участок (канал) или входной участок, а в ряде случаев и весь тракт береговых безнапорных водосбросов работают в основном по схеме истечения через водослив с широким порогом и значительно реже по схеме истечения через водослив со стенкой практического профиля. При истечении через безнапорный береговой водосброс как незатопленный водослив в пределах водопадной зоны – она образуется перед подходным каналом или входным участком водосброса – происходит разрушение крупных ледяных полей и более мелкие льдины проходят через сооружение. Если истечение через безнапорный береговой водосброс происходит по схеме затопленного водослива, то на подходном участке отсутствует сколь-нибудь значительный перепад, и ледяные поля могут разламываться при ударах о борта подводящего участка и бетонные конструкции. Лед должен поступать на тракт такого рода сооружений только после значительного снижения его прочности.

Пропуск льда через туннели с затопленным входным сечением осуществляется также как и через глубинные водосбросы с аналогичными режимами течения.

Задержание льда перед береговыми водосбросами может осуществляться за счет их малой пропускной способности или за счет подъема уровня верхнего бьефа при маневрировании затворами.

А.9 Пропуск льда при переливе воды через гребень временных и постоянных водопропускных сооружений. К сооружениям, через которые осуществляется сброс льда в нижний бьеф при переливе воды через их гребень, относятся грунтовые и бетонные перемычки и строящиеся плотины, водосливные плотины. При пропуске льда через эти сооружения наблюдаются режимы работы, характерные для схемы истечения через водослив.

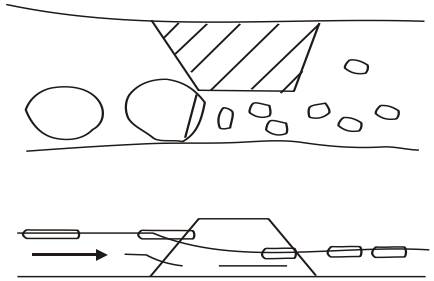
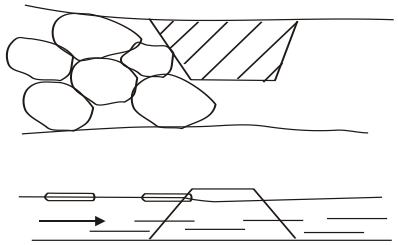
А.10 В ряде случаев целесообразно применение комбинированных схем пропуска ледохода через сооружения гидроузлов. При такого рода схемах возможны следующие сочетания различных сооружений для пропуска льда:

- используется несколько типов водопропускных сооружений или в состав водопропускного сооружения входят пролеты, отличающиеся размерами. В практике строительства гидроузлов встречались следующие комбинации сооружений, работающих совместно при пропуске ледоходов: глубинные и поверхностные водосбросы, суженное перемычками русло и береговой канал, строительный туннель и недостроенная плотина, пролеты гребенки, имеющие различную ширину. Гидравлические особенности пропуска льда через сооружения, применяемые в таких комбинациях, аналогичны изложенным выше. Совместное использование различных водопропускных сооружений в период ледохода позволяет более гибко учесть их достоинства и недостатки;

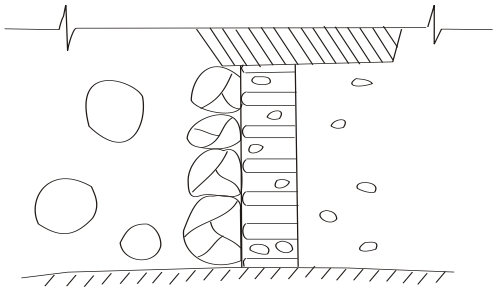
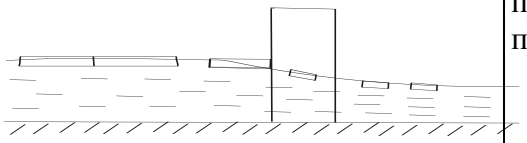
- совместно применяются сооружения, которые располагаются последовательно по течению. К такого рода схемам прибегают в тех случаях, если основное водопропускное сооружение работает при подтопленном или напорном режиме течения и не обеспечивает пропуск значительных по размерам ледяных полей. В этом случае на подходе к сооружению предусматривают конструктивные мероприятия, способствующие возникновению сосредоточенного перепада уровней и, соответственно, разрушению на нем крупных ледяных полей. В качестве такого конструктивного мероприятия может

использоваться, например, стеснение потока в виде неполностью разобранной по фронту или высоте перемычки или специальные установленные на дне блоки – «затопленные ледобои», использование которых показано в приложении Д.

Т а б л и ц а А.1 - Схемы пропуска расходов воды и льда

Схемы пропуска льда через сооружения гидроузлов	Особенности конструкции сооружений	Гидравлические особенности работы сооружений			Расчетные гидравлические схемы пропуска расходов	Условия пропуска льда
		Гидравлическая схема истечения	Условия подтопления	Характеристика перепада на входе		
Через суженные русла	Часть русла в створе гидроузла ограждена перемычками для производства строительных работ в котловане, расходы воды и льда пропускаются через суженное русло	Водослив без порога, являющийся разновидностью водослива с широким порогом	Неподтоп-ленный режим истечения	Водопадная область с переходом режима течения из спокойного в бурный с сосредоточенным перепадом на коротком участке		На сосредоточенном перепаде ледяные поля шириной больше ширины сужения разламываются на части и беспрепятственно проходят в нижний бьеф
			Подтопленный режим истечения	Перепад на входе в сужение невелик		Пропуск ледяных полей с шириной больше ширины сужения без дополнительных мероприятий возможен, если кинетическая энергия льдин достаточна для их разрушения при ударах о перемычку и берега

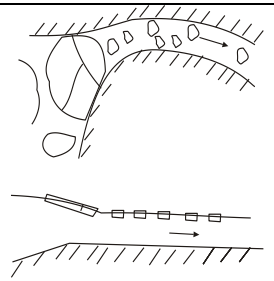
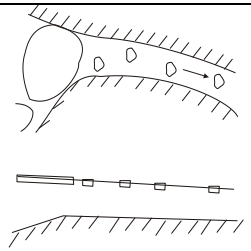
Продолжение таблицы А.1

Через гребенки бетонных плотин	В стесненном перемычками русле выполняют сооружения для пропуска строительных расходов воды и льда в виде основания или нижней части плотины, на гребне которых предусмотрены быки, предназначенные для установки затворов. По расположению порога относительно дна русла различают гребенки: с низким порогом (непосредственно у дна русла) и с высоким порогом	Одна из форм водослива: водослив с широким порогом (в том числе водослив без порога) или водослив со стенкой практического профиля				
		1. Низкая гребенка работает как водослив с широким порогом	Неподтопленный режим истечения	Водопадная область с сосредоточенным перепадом на входе		На сосредоточенном перепаде ледяные поля разламываются и пропускаются в нижний бьеф при достаточной ширине пролетов гребенки

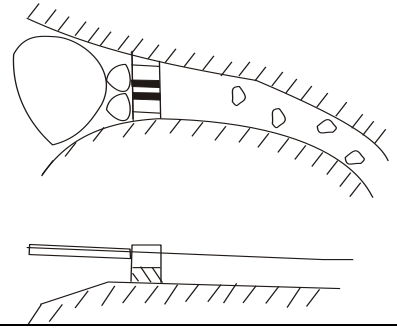
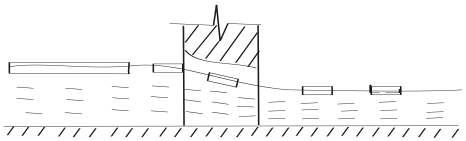
Продолжение таблицы А.1

			Подтоп-ленный режим истечения	Перепад на сужении невелик		Пропуск льдин возможен, если кинетическая энергия льдин достаточна для их разрушения при ударе о быки. В противном случае необходимо предусматривать дополнительные мероприятия (Приложение В)
		2. Высокая гребенка работает как водослив со стенкой практического профиля	Неподтоп-ленное истечение	Сосредоточен-ный перепад на входе		В пределах водопадной области ледяные поля разламываются и пропускаются в нижний бьеф при достаточной ширине пролетов
		3. Гребенка с быками, вынесенными в верхний бьеф сооружения	Неподтоп-ленное истечение	Весь перепад сосредоточен в пределах сооружений		Пропуск льдин возможен лишь при их разрушении о быки
Через строительные каналы, быстротоки	Каналы, устраиваемые в береговых примыканиях, в пределах поймы или части плотины или у одного из берегов					

Продолжение таблицы А.1

	1. На тракте канала не предусмотрены какие-либо сооружения	Водослив без порога	Неподтоп-ленное истечение	Сосредоточен-ный перепад на коротком участке		На сосредоточенном перепаде ледяные поля разламываются и, если их размеры становятся меньше ширины входного участка, то они проходят в нижний бьеф
			Подтопленное истечение	Перепад на входе в сужение невелик		Пропуск ледяных полей без дополнительных мероприятий затруднен
	2. На тракте канала (быстротока) предусмотрено регуляционное сооружение	Водослив с широким порогом или практического профиля	Неподтопленное истечение	Аналогично гидравлическим условиям работы без регуляционного сооружения, но ширина разламывающихся ледяных по-лей для их прохождения в нижний бьеф должна быть меньше ширины пролетов регуляционного сооружения		

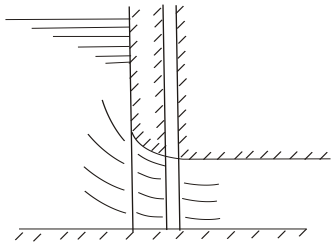
Продолжение таблицы А.1

			Подтопленное истечение	Малый перепад на входе		Пропуск ледяных полей без дополнительных мероприятий затруднен; пропуск льдин меньше ширины подводящего участка аналогичен условиям работы гребенки
Через глубинные водосбросы	В стесненном перемычками русле в бетонной плотине, выполненной на части высоты, предусмотрены для пропуска воды глубинные водосбросы	При незатопленном входном сечении условия работы глубинных водосбросов аналогичны условиям работы гребенки как одной из форм водослива: 1. Донный водосброс работает как водослив без порога (гребенка с низким порогом)	Неподтопленный режим истечения	Водопадная область с сосредоточенным перепадом на входе		Аналогично работе гребенки

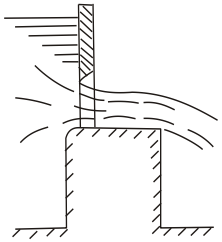
Продолжение таблицы А.1

Через глубинные водосбросы			Подтопленный режим истечения	Перепад при сужении невелик		
		2. Глубинный водосброс работает как водослив со стенкой практического профиля (гребенка с высоким порогом)	Неподтопленное истечение	Сосредоточенный перепад на входе		Аналогично работе гребенки
		3. Глубинный водосброс с быками, вынесенными в верхний бьеф сооружения	Неподтопленное истечение	Весь перепад на входе сосредоточен в пределах сооружения		Аналогично работе гребенки
		1. Истечение из отверстия		Перепад перед сооружением практически отсутствует		Дробление льдин происходит при их ударе о быки, под влиянием вихревых воронок и под давлением надвигающихся с верхнего бьефа масс льда. Проходит лишь ослабленный, раздробленный лед, его пропуск более успешен при наличии перед входом вихревых воронок

Продолжение таблицы А.1

Через гребень временных и постоянных водопропускных сооружений	При пропуске воды и льда переливом через гребень грунтовых или бетонных перемычек, строящиеся плотины и водосливные плотины	2. Истечение через водосброс с напорным режимом течения Истечение через водосливы различного типа:		Сосредоточенный перепад перед сооружением отсутствует		Аналогично предыдущему пункту
		1. При свободном истечении через гребень	Истечение неподтопленное или подтопленное	Размеры перепада зависят от условий подтопления		Пропуск льда в основном аналогичен условиям, наблюдающимся в случае гребенки

Окончание таблицы А.1

		2. При наличии на гребне частично открытого затвора	Истечение через неподтопленное отверстие	Перепад на сооружении практически отсутствует		Аналогично пропуску льда через отверстие на входе в глубинный водосброс

Приложение Б
(обязательное)

Состав исходных данных для решения задач по пропуску льда (стадия инженерных изысканий)

Б.1 Назначение схемы пропуска льда должно осуществляться с учетом следующих условий:

- запаса ледового материала на участке выше створа плотины до створа выклинивания кривых подпора;
- характера гидрографа паводка, интенсивности нарастания расходов воды;
- данных о датах появления воды на льду и отрыва льда от берегов, скоростей движения льда по длине верхнего бьефа;
- изменения температуры воздуха за период, предшествующий ледоходу, запаса холода во льду, изменения прочности льда в период паводка при наличии или отсутствии снега на льду;
- возможности задержки льда или его части в верхнем бьефе;
- данных о количествах заторного льда в верхнем бьефе, расходах ледового материала, льдистости потока;
- готовности фронта сооружения, ширины ледосбросного фронта, изученности гидравлического режима работы сооружения;
- оценки характера вскрытия нижнего бьефа и способов освобождения его от ледяного покрова;
- данных о максимальных расчетных расходах воды и льда в период ледохода.

Б.2 Условия Б.1 могут быть получены и оценены по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий в соответствии с нормами [3].

Б.3 Условия пропуска льда должны базироваться на следующих материалах:

- план и продольный профиль верхнего бьефа гидроузла в масштабе не менее 1:5000;
- метеорологические статистические данные района водохранилища, охватывающие зимний и весенний периоды и дающие следующую информацию: температуру воздуха; скорость ветра; облачность общую; интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации; - дату перехода температуры воздуха через 0°С в осенний и весенний периоды;
- данные о толщине льда по поперечникам и маршрутным ледомерным съемкам;
- максимальный расход воды в период ледохода (прогноз);
- ход уровня воды в период ледохода;
- кривые связи расходов и уровней воды при пропуске расходов в ледовых условиях;
- чертежи сооружений с указанием размеров ледосбросных сооружений: ширины отдельных ледосбросных пролетов и их числа; толщины и очертания оголовков раздельных быков, выдвижения быков от порога водослива в сторону верхнего бьефа,

высоты порога, ширины и высоты входного сечения глубинных водосбросов, поперечного профиля порога ледосбросных сооружений; планового расположения ледосбросов;

- сбросные расходы воды;
- направление потока и поверхностные скорости течения;
- осредненные по глубине скорости течения в верхнем бьефе;
- глубина потока перед сооружением и в его пределах;
- уклоны водной поверхности на подходе к ледосбросным сооружениям;
- состояние водной поверхности перед сооружением – наличие стоячих волн, кривых спада перед водосливами, вихревых воронок на входе в глубинные водосбросы;
- данные о подтоплении сооружения со стороны нижнего бьефа;
- напор на водосливе;
- заглубление верха глубинных водосбросов;
- размеры и скорости подходящих к сооружению ледяных полей и отдельных льдин;
- толщина и прочность льда;
- интенсивность и густота ледохода;
- толщина скоплений заторного льда;
- объем сбрасываемого льда;
- водоаккумулирующая способность верхнего бьефа.

Приложение В
(обязательное)

Назначение ширины суженного русла при пропуске льда через створ сооружения

В.1 На стадии проекта для разработки схемы пропуска льда через суженное перемычками русло реки назначается:

Минимальная относительная ширина суженного русла, устанавливаемая по формуле:

$$\left(\frac{b_{\tilde{n}}}{\hat{A}}\right)_{\grave{\imath}\ \grave{e}\acute{\imath}} = 0{,}72\left(1 - 0{,}35\frac{\hat{A}}{h_d}\cdot\frac{v_i^2\rho_i}{R_f}\right), \qquad (В.1)$$

где b_c и B – ширина суженного русла и реки, м;

h_d и v_i – толщина, м и скорость движения льда, м/с;

ρ_i – плотность льда, кг/м^3;

R_f – предел прочности льда на изгиб, МПа;

В случае, если известны только толщина льда и ширина реки в период ледохода, относительное минимальное сужение вычисляется по формуле:

$$\left(\frac{b_c}{B}\right)_{мин} = 0{,}5\,0{,}3\,B^{-1/2}\,h_d^{-1/2}, \qquad (В.2)$$

Если известна только ширина реки, то относительное минимальное сужение при средней расчетной толщине льда h_d = 1,0 м определяется по формуле:

$$\left(\frac{b_c}{B}\right)_{мин} = 0{,}5\,0{,}2\,B^{-1/2}, \qquad (В.3)$$

где B имеет размерность, м;

коэффициент $0{,}2\cdot10^{-3}$ имеет размерность 1/м.

Примечание – Формулы (В.1) и (В.2) для определения $\left(\frac{b_c}{B}\right)_{мин}$ справедливы при значениях $\frac{B}{h_d}$ от 150 до 1500 м, а формула (В.3) – при B < 1000 м.

Приложение Г
(обязательное)

Разлом льдин на перепаде у входа в суженное русло

Минимальный перепад, при котором происходит разлом ледяных полей длиной больше 50 м на кривой спада, следует определять по формуле:

$$\Delta z_{мин} = 0{,}03\sqrt{\frac{h_л R_f}{\rho g}}. \qquad (Г.1)$$

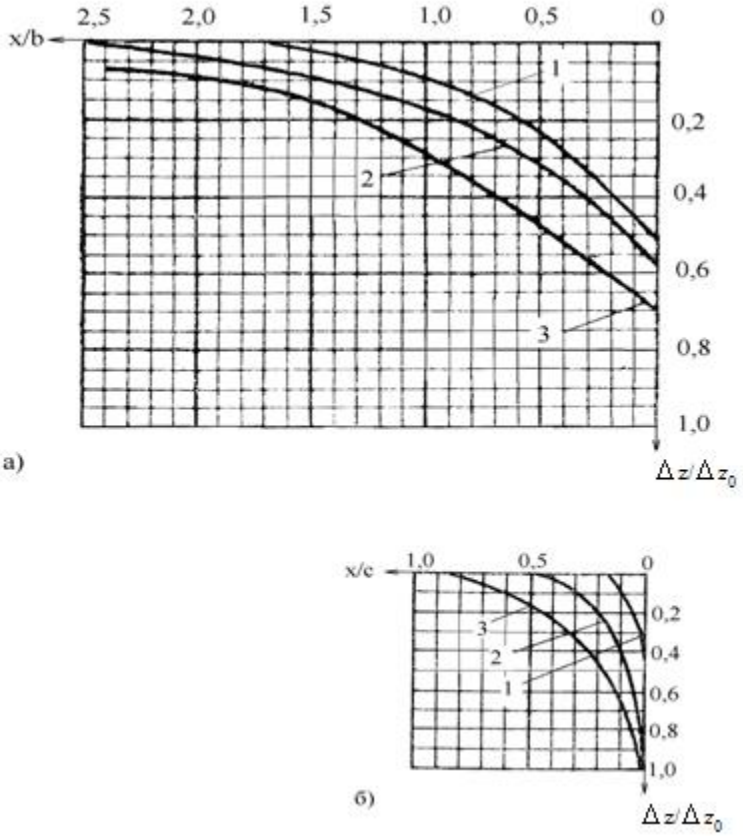
Для определения перепада Δz на входе в сужение следует использовать данные лабораторных и натурных гидравлических исследований, а также гидравлических исследований сужений аналогичной конструкции. При отсутствии таких данных для оценки перепадов на входном участке сужения необходимо использовать значения относительного понижения свободной поверхности на участке перед стеснением русла перемычкой, которые можно получить на основании рисунка Г.1. Эти данные справедливы, если стеснение русла перемычкой работает по схеме истечения с подтоплением ($0<\Delta z_o/t<0{,}25\div0{,}3$), где t – глубина нижнего бьефа. На рисунке Г.1 приняты следующие обозначения: Δz_o – перепад уровней между верхним бьефом и сжатым сечением, ; Θ - угол между верховым участком перемычки и динамической осью потока; c – длина верхового участка перемычки; x - координата вдоль суженного русла или вдоль верхового участка 1 перемычки. Для использования графиков рисунка Г.1 перепад уровней воды Δz_o может быть установлен на основании рекомендаций [6]. На основании графиков рисунка Г.1 по относительной длине льдин x/b и x/c может быть установлен перепад уровней по длине льдины Δz. При выполнении условия $\Delta z \geq \Delta z_{мин}$ длину полос льда, отделяющихся от ледяных полей на гидравлических перепадах на входе в суженные участки русла, следует определять по формуле:

$$\ell = 4{,}2\sqrt{\frac{h_л R_f}{\rho g}}. \qquad (Г.2)$$

Входящую в формулы (Г.1) и (Г.2) характеристику прочности льда при изгибе R_f, следует вычислять по формуле

$$R_f = 0{,}4\, R_c, \qquad (Г.3)$$

где R_c - прочность льда на одноосное сжатие в нижнем слое рассматриваемого ледяного поля при температуре 0°С, принимаемая при отсутствии данных специальных испытаний по СП 38.13330.2012.



а – вдоль берега, у которого предусмотрено сужение русла;
б – вдоль верхового участка перемычки;
1 –3 для *Θ*, соответственно, равных 90°; 120°; 150°

Рисунок Г.1 - Относительное понижение свободной поверхности воды на участке выше стеснения русла реки перемычкой

Приложение Д
(рекомендуемое)

Создание дополнительных искусственных перепадов для разлома льда выше по течению

Для снижения плотности ледохода в местах возможного заторообразования при пропуске льда через строящиеся на равнинных водотоках ГТС целесообразно использовать способ уменьшения размера льдин, заключающийся в установлении перед заторопасным участком затопленного порога. Под влиянием кривой спада над порогом-ледобоем создаются искусственные условия разрушения крупных смерзшихся льдин, как показано на рисунке Д.1. Вследствие перепада скорость движения льдин за порогом будет увеличиваться, а льдины будут проходить участки возможного заторообразования с большей кинетической энергией. Строительство ледобоев по схеме широкого порога предпочтительнее.

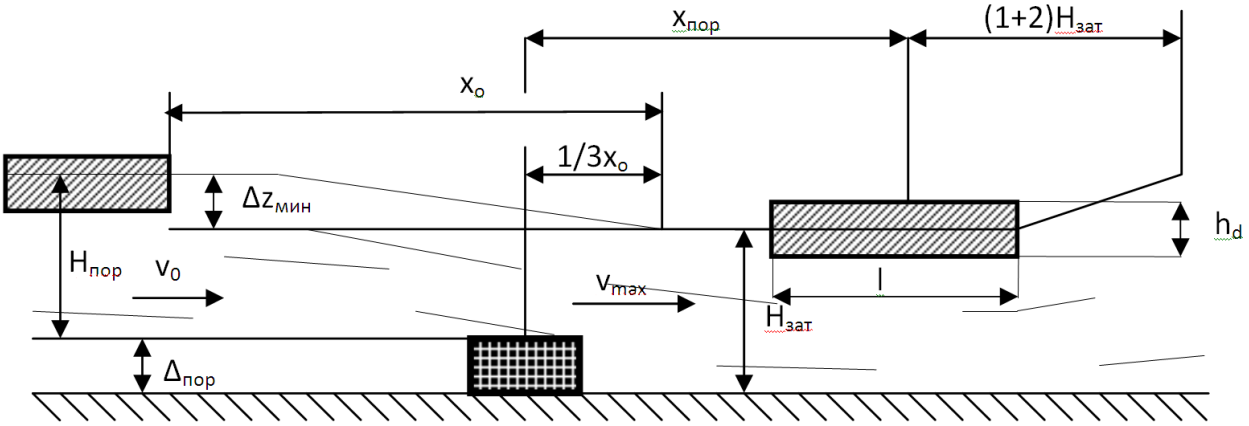


Рисунок Д.1 - Характеристики затопленного порога

Если ледяное поле находится на кривой спада, то возможность разлома льдины определяется минимальной величиной сосредоточенного перепада, возникающего над порогом

$$\Delta z_{мин} = 0{,}03\sqrt{\frac{h_d R_f}{\rho g}}, \qquad (Д.1)$$

где h_d - толщина льда;

R_f – предел прочности льда на изгиб, зависящий от температуры, скорости приложения нагрузки.

При отсутствии натурных данных о прочностных характеристиках льда можно их назначать в соответствии с СП 38.13330.2012. При этом длина отламывающихся кусков льда на кривой спада определяется формулой:

$$l = 2{,}3\sqrt{\frac{h_d R_f}{\rho_i g}}\,. \qquad (Д.2)$$

Величина сосредоточенного перепада z, возникающего над порогом водослива, определяется по формуле:

$$z = \frac{v_{max}^2 - v_0^2}{2g}, \qquad (Д.3)$$

где v_{max} – скорость в сжатом сечении;

v_0 – скорость подхода льдин; максимальную скорость можно определить как

$$v_{max} = v_0 + \frac{\kappa x_0}{(\alpha - \beta)}\left(e^{\alpha x / v_o} - e^{\beta x / v_o}\right), \qquad (Д.4)$$

где κ – коэффициент, определяемый в зависимости от времени прохождения потоком расстояния x_0 по зависимости $\kappa=(v_0/x_0)^2$, $\alpha = -p - \sqrt{p^2 - \kappa}$, $\beta = -p + \sqrt{p^2 - \kappa}$, p – рассеивающий коэффициент не плавно изменяющегося течения, принимаемый равным от $1{,}1\sqrt{\kappa}$ до $2\sqrt{\kappa}$ в зависимости от шероховатости русла, угла сужения и растра линий токов.

Определение длины льдин после разлома в направлении вдоль потока на перепадах, образующихся за счет планового и частично высотного стеснения русла, выполняется по зависимости

$$l = 4{,}2\sqrt{\frac{h_d R_f}{\rho_i g}}\,. \qquad (Д.5)$$

Чем больше сосредоточенный перепад z, тем меньше длина льдин за спадом.

Порог затопленного ледобоя должен размещаться с таким расчетом, чтобы центр его основания находился на расстоянии $1/3 \cdot x_0$ от кривой спада. Для определения местоположения центра порога целесообразно пользоваться формулами

$$x_{пор} = \tau v_{max} + 2H_{зат} - 7z \qquad (Д.6)$$

$$x_{кр} = \tau v_{max} + 4H_{зат}. \qquad (Д.7)$$

Высота порога определяется по формуле

$$\Delta_{пор} = z + H_{зат} - H_{пор} \qquad (Д.8)$$

$H_{пор} = H_0 - v_0^2/2g$; – полный напор над порогом;

$$H_0 = \left(\frac{v_0 \omega}{\varphi \mu b \sqrt{2g}}\right)^{0{,}667}, \qquad (Д.9)$$

φ и μ – коэффициенты сжатия и расхода порога затопленного ледобоя;

ω – площадь живого сечения потока перед порогом затопленного ледобоя;

$H_{зат}$ - средняя глубина потока за затопленным ледобоем.

При движении ледовых полей через широкий порог уровень воды не должен превышать как минимально, так и максимально допустимый. Затопленные водосливы следует выполнять относительно короткими по фронту.

Целесообразно придерживаться следующей схемы размещения группы затопленных порогов-ледобоев (водосливов с широким порогом): два водослива располагаются друг от друга на расстоянии в 0,75 интервала восстановления (расстояния кривой подпора за погруженной в поток преградой, порядка 150…300 м или по расчету), а третий – на дистанции в полтора выше оговоренного интервала.

Подобная схема обеспечивает эффективное разрушение ледовых полей различной сплошности, прочности и толщины. Увеличение числа порогов, очевидно, повышает общую эффективность мероприятий. Затопленные ледобои, стоящие под углом к потоку, создают локальные циркуляционные потоки, водовороты, обеспечивающие ослабление льда при столкновении ледовых полей.

Приложение Е
(обязательное)

Нагрузки от движущегося льда на ограждающие перемычки

Е.1 Нагрузку от движущейся льдины на откос перемычки или другой элемент сооружения с наклонной передней гранью (рисунок Е.1) следует определять по формулам:

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

$$F_{h,i} = k_\beta k_\Delta R_f b h_d \operatorname{tg}\left(\beta + \operatorname{arctg} f\right) + m_h [1 + A_1 \left(f - 0{,}1\right) + A_2 \left(f - 0{,}1\right)^2] b \qquad (E.1)$$

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

$$F_{v,i} = k_\beta k_\Delta R_f b h_d + m_v \left[1 + A_3 \left(f - 0{,}1\right)\right] b\,, \qquad (E.2)$$

где k_β – коэффициент, принимаемый по таблице Е.1;
k_Δ – коэффициент, принимаемый по таблице Е.2;
m_h – коэффициент, принимаемый по таблице Е.3;
A_1, A_2, A_3 – коэффициенты, принимаемые по таблице Е.4;
m_v – коэффициент, принимаемый по таблице Е.5;
f – коэффициент трения, принимаемый по таблице Е.6.

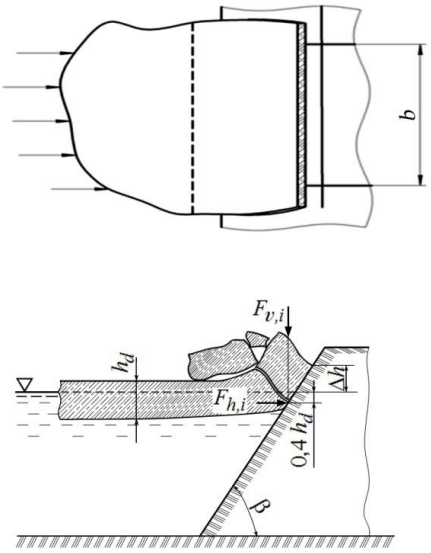


Рисунок Е.1 Схема приложения нагрузок от движущейся льдины на откос перемычки

Коэффициенты k_β, m_h и m_v принимаются в зависимости от высоты Δh, м, надводного скопления обломков льда у откоса или передней грани сооружения. Значение

Δh определяется по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии по результатам моделирования, при этом Δh не может быть больше возвышения гребня сооружения над уровнем воды.

Т а б л и ц а Е.1 - Коэффициент k_β

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

Т а б л и ц а Е.2 - Коэффициент k_Δ, зависящий от высоты надводного скопления обломков льда

Δh, м	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Коэффициент k_Δ	0,039	0,48	0,062	0,073	0,83

Т а б л и ц а Е.3 - Значения коэффициента m_h,

Δh, 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

Т а б л и ц а Е.4 - Значения коэффициентов A

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

Т а б л и ц а Е.5 - Значения коэффициента m_v,

Δh, 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	0,155
4,0	1,080	1,099	1,122	1,327	1,620

Т а б л и ц а Е.6 - Коэффициент трения между льдом и поверхностью передней грани сооружения

Материал	Лед	Бетон	Грунт	Металл
f	0,10	0,11	0,15	0,15-0,20

Е.2 Нагрузку от движущегося тороса на откос перемычки или на другие элементы сооружения F_r следует определять как сумму нагрузок от надводной и подводной частей ледяного образования

$$F_r = F_u + F_b \qquad (E.3)$$

Нагрузка от надводной части ледяного образования (рисунок Е.2) определяется по формулам:

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

$$F_{h,u} = 0{,}5\left[10^{-6}\left(1-\psi_r\right)\left(\rho_w - \rho_i\right) g\, h_u^2\, k_p + c_r\, ctg\, \varphi_r\, h_u\left(k_p - 1\right)\right] b \qquad (E.4)$$

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

$$F_{v,u} = F_{h,u}\, tg\left(90^o - \beta - arctg\ f\right) - 0{,}5\, c_r\, ctg\, \varphi_r\, tg\left(arctg\ f\right) h_u\, b \qquad (E.5)$$

где ψ_r пористость тороса, принимаемая равной 0,7;

ρ_w плотность воды, принимаемая равной 1000 кг/м^3;

ρ_i плотность льда, принимаемая при отсутствии данных специальных

испытаний, равной 920 кг/м^3;

g ускорение свободного падения, м/с^2;

h_u высота надводной части тороса, м;

если $h_u > \Delta h$, то принимается $h_u = \Delta h$;

k_p коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления обломков льда, определяемый по формуле:

$$k_p = \left[\frac{cos(\varphi_r + 90 - \beta)}{cos(90 - \beta)(1 - \sqrt{k_3})} \right]^2 \qquad (E.6)$$

k_3 - коэффициент, определяемый по формуле:

$$k_3 = \frac{sin\,(\varphi_r + arctg\ f)\,sin\,(\varphi_r)}{cos\,(90 - \beta - arctg\ f)\,cos\,(90 - \beta)}; \qquad (E.7)$$

c_r адгезия между обломками льда, принимаемая равной 0,003 МПа;

φ_r угол внутреннего трения нагромождения обломков льда, принимаемый равным, 35°С;

b ширина элемента сооружения по фронту на уровне действия льда, м.

Нагрузка от подводной части ледяного образования определяется по формулам:

а) горизонтальная составляющая нагрузки $F_{h,b}$

$$F_{h,b} = 0{,}5 \left\lfloor 10^{-6} (1 - \psi_p) \rho_i\ g\ h_b^2\ k_p + c_r\ ctg\ \varphi_r\ h_b\ (k_p - 1) \right\rfloor b \qquad (E.8)$$

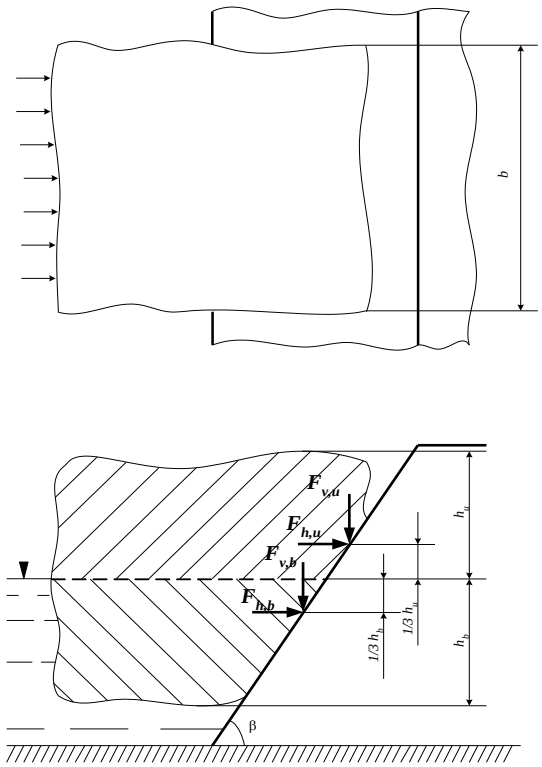


Рис. Е.2. Схема приложения нагрузок от движущегося тороса на откос перемычки

б) вертикальная составляющая нагрузки $F_{v,b}$

$$F_{v,b} = F_{h,b}\ tg\left(90 - \beta - arctg\ f\right) - 0{,}5\, c_r\ ctg\ \varphi_r\left(arctg\ f\right) h_b\ b \qquad (E.9)$$

где h_b глубина подводной части тороса, м.

Соотношение надводной и подводной частей тороса h_u/h_b можно принимать равным приблизительно 0,1 – 0,2.

Е.3 Линейная горизонтальная нагрузка от воздействия зажора на уровне действия ледяного образования на 1 м длины берега обводного канала или другого элемента сооружения, расположенного параллельно направлению течения воды, определяется по формуле:

$$f_s = k_m\left(5\cdot 10^{-6} v_{max}^2 h_j + 5\cdot 10^{-4} h_j v_{max}^2 / L_j + 9{,}2\cdot 10^{-3} h_j i + 2\cdot 10^{-8} v_{w,max}^2\right) h_j\,, \qquad (E.10)$$

где k_m коэффициент, принимаемый равным для песчаных берегов – 0,7; глинистых – 0,8; скальных (или покрытых бетонными плитами) – 0,9;

v_{max} максимальная скорость течения воды 1 %-ной обеспеченности в период пропуска льда, м/с;

L_j длина участка зажора, принимаемая равной полуторной ширине канала на уровне действия ледяного образования, м;

i уклон поверхности потока на подходе к сооружению;

$v_{w,max}$ максимальная скорость ветра 1 %-ной обеспеченности в период пропуска льда, м/с;

h_j толщина зажора, м.

Е.4 Линейная горизонтальная сила трения от воздействия зажора на уровне действия ледяного образования на 1 м длины берега обводного канала или другого элемента сооружения, расположенного параллельно направлению течения воды, определяется по формуле:

$$f_f = f_s\ f\,, \qquad (E.11)$$

где f_s нагрузка, определяемая по формуле (Е.10).

Коэффициент трения f между льдом и поверхностью берегового откоса принимается по табл. Е.6.

Приложение Ж
(справочное)

Определение характеристик навала льда на сооружения откосного типа

Оценка объема и высоты навала льда может быть выполнена следующим образом. В качестве исходных данных следует принимать:

- длину ледяного поля - L;
- скорость движения ледяного поля - v;
- максимальную толщину льда - h_d;
- угол берегового откоса - α;
- угол естественного откоса льда в навале - φ;
- пористость льда в навале - Ψ;

Объем навала льда определяется как

$$V = \frac{3{,}5 L v h_d}{g(1 + \alpha\varphi)}, \text{ м}^3. \qquad (Ж.1)$$

Высота навала льда над уровнем воды

$$H_\Delta = \sqrt{\frac{3{,}5 L v h_d \sin(\alpha + \varphi)\sin(\alpha + \varphi)}{g(1 + \alpha\varphi)(1 + \psi)\sin\alpha}} \qquad (Ж.2)$$

Длина навала льда

$$L_\Delta = 3{,}5 H_\Delta.$$

Приложение И
(обязательное)

Общие рекомендации по определению ширины ледосбросного фронта и отдельных его пролетов при пропуске льда через гребенку бетонных плотин

Общие рекомендации по определению ширины ледосбросного фронта и отдельных его пролетов сводятся к следующему:

И.1 Ширина отдельных пролетов гребенки плотины, необходимая по условиям пропуска льда, должна определяться по формуле:

$$b_i = 2{,}6 \cdot 10^3 \frac{\ell R_f}{v_i^2 \rho_i}, \qquad (И.1)$$

где ℓ - длина льдин;

R_f – прочность льда при изгибе в период его пропуска;

v_i– скорость подхода льда к гребенке, которую можно принимать равной средней скорости течения воды;

ρ_i – плотность льда. Формула (И.1) применима при подходе к пролетам гребенки отдельных льдин, размеры которых соизмеримы с шириной пролетов гребенки и для которых отношение b_i/ℓ больше 0,4÷0,7, и для $0{,}02 < \frac{v_i^2}{g\ell} < 0{,}2$,

где g - ускорение свободного падения.

И.2 Ширину отдельных пролетов гребенки плотины, на подходе к которым отсутствует сосредоточенный гидравлический перепад или кривая спада водной поверхности, необходимую ширину пролетов по условиям пропуска льда, следует определять по формуле:

$$b_i = \frac{110 k_p b_d}{v_i^2}, \qquad (И.2)$$

где $k_p = k_v k_b R_c$ для бычков с вертикальной передней гранью и $k_p = k_f R_f \operatorname{tg}\alpha$ для бычков с наклонным ледорезом (k_v - коэффициент скорости деформации льда, принимаемый по СП 38.13330.2012 (таблица 19);

k_b - коэффициент смятия льда, принимаемый по СП 38.13330.2012 (таблица 18);

k_f - коэффициент, учитывающий форму и размеры быка с наклонным ледорезом, принимаемый по таблице И.1);

m – коэффициент формы, учитывающий плановое очертание верхового оголовка быков, принимаемый по СП 38.13330.2012;

R_c –прочность льда на сжатие, МПа;

v_i – скорость движения льдин, м/с;

b_d – ширина быков, м.

Т а б л и ц а И.1 - Значения коэффициента k_f, учитывающего форму быка с наклонным ледорезом

Угол наклона ледореза быка к горизонту β, град	Угол заострения треугольной режущей грани быка в плане 2γ, град				
	45	60	75	90	120
	Коэффициент k_f				
45	0,20	0,17	0,16	0,16	0,16
60	0,24	0,20	0,19	0,18	0,17
70	0,38	0,27	0,23	0,21	0,19
75	0,79	0,38	0,29	0,26	0,22
Примечание - Для быка с закругленной или полуциркульной режущей гранью коэффициент k_f определяется, как для угла заострения, равного $2\gamma = 80^o$.					

И.3 Общую ширину ледосбросного фронта B_i, обеспечивающего пропуск льда через гребенку, необходимо определять в соответствии со схемой гребенки плотины, показанной на рисунке И.1, по следующей формуле:

$$B_i = c_1 \left[\frac{v_o^2}{g h_o} \left(1 + \frac{h_o}{h_3} \right) \right]^{-0,5} B, \qquad (И.3)$$

где c_1 – коэффициент пропорциональности, принимаемый равным 1,85 при разрушении льда на сосредоточенном перепаде и 3,7 при разрушении льда на кривой спада;

v_o и h_o – скорость течения и глубина воды на подходе к сужению, соответственно;

B – ширина реки выше сужения.

При движении через гребенку мелкораздробленного уплотненного потоком льда необходимую для его пропуска ширину ледосбросного фронта следует вычислять по формуле:

$$B_i = 0,41 c_2 c_3 \frac{b'}{b_d \beta^2}, \qquad (И.4)$$

где $c_2 = 0,07 b_d + 0,3$ - коэффициент, учитывающий взаимодействие ледяной массы с быками в диапазоне изменения их толщины 3м $\leq b_d \leq$ 10м;

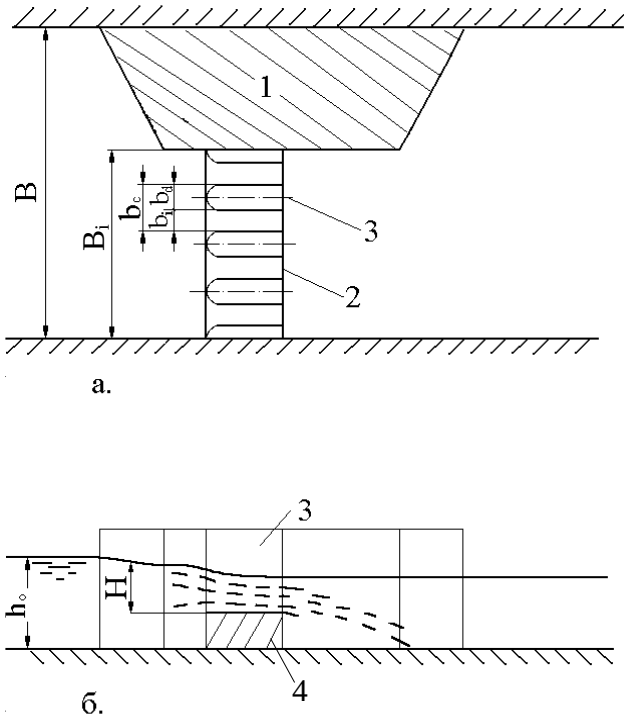
b' – расстояние между осями быков гребенки, м;

$\beta = v_1/v_2$, v_1 и v_2 – скорость течения в начале и в конце сужения русла перемычками;

c_3 – коэффициент, учитывающий форму и размеры сужения перед гребенкой и рассчитываемый при параллельной ориентации продольного участка перемычки и противоположного берега (β=1) по формуле:

$$c_3 = 1 + 0,6 \frac{L}{B}, \qquad (И.5)$$

где L – расстояние от входа в сужение до гребенки.



а – план; *б* – продольный разрез гребенки;
1 – котлован II очереди; *2* – пролеты гребенки;
3 – быки; *4* – порог гребенки

Рисунок И.1 - Схема гребенки плотины

Формула (И.5) применима для русел с коэффициентом шероховатости n = 0,03÷0,04 и при h_d / h < 0,1.

И.4 Минимальная ширина ледосбросного фронта гребенок с низким порогом на реках шириной от 150 до 500 м принимается равной 0,2 *B*, а при ширине реки более 500 м – равной 0,16*B*, где *B* – ширина русла перед стеснением.

И.5 При ширине пролетов гребенки от 6 до 30 м толщина её быков может достигать от 8 до 10 м. Применение сглаженных плановых очертаний верховых оголовков быков: полуциркульных, в виде треугольника и многоугольника – способствует улучшению условий их обтекания и пропуска льда.

Приложение К
(обязательное)

Разлом льда на гидравлических перепадах перед гребенкой бетонных плотин

К.1 Для разрушения ледяных полей перед гребенкой значение сосредоточенного перепада Δz должно быть не меньше его минимального значения, рассчитанного по формуле (Г.1). При определении перепада на участке до гребенки необходимо рассматривать случаи ее работы как незатопленного и подтопленного водослива с широким порогом.

К.2 Понижение свободной поверхности выше гребенки по течению при отсутствии ее подтопления со стороны нижнего бьефа необходимо определять на основании следующих зависимостей, которые рекомендуется использовать при $x/H<1,5$ [5]:

для гребенки с шириной пролетов $b_i>(3\div4)H$ (широкая гребенка)

$$\Delta z_x = \alpha \exp(-\alpha x/H), \qquad (К.1)$$

в которой для прямоугольного очертания порога гребенки $\alpha = 1,8$, а при скруглении ее входного ребра $\alpha = 1,3$; x – горизонтальная координата, отсчитываемая от напорной грани плотины в сторону верхнего бьефа;

для гребенки с шириной пролетов $b_i<(2\div3)H$ для максимального понижения свободной поверхности в створе напорной грани гребенки

$$z_{\hat{a}} / H = 0,005B / H + \hat{E}, \qquad (К.2)$$

в которой $z_{\hat{a}}$ - максимальное понижение свободной поверхности в створе напорной грани плотины; B – ширина порога гребенки, а свободный член E, принимается при прямоугольном очертании ее порога равным 0,03, а при скруглении его входного ребра – 0,02.

Изменение среднего по ширине потока понижения свободной поверхности по сравнению с уровнем верхнего бьефа

$$\Delta z_{\hat{a}} = \alpha \exp(-\alpha x/H). \qquad (К.3)$$

Перед узкими гребенками не отмечается существенного понижения свободной поверхности в диапазоне $0 \le x/H \le 0,20$, а различие в глубинах воды в створе напорной грани у быков и по оси пролета гребенки может составлять от 0,5 до 1,2 от среднего понижения кривой свободной поверхности по сравнению с уровнем верхнего бьефа.

К.3 При определении понижения уровней воды перед гребенкой ее подтопление необходимо учитывать лишь тогда, когда глубина нижнего бьефа над ее порогом $t \ge 0,8H$. До значения $t<0,8H$ указанное понижение свободной поверхности должно учитываться также как для случаев незатопленного истечения.

Для случаев $t \ge 0,8H$ данные для определения понижения свободной поверхности перед гребенкой в долях перепада на сооружении Δz_o приведены в таблице К.1.

Таблица К.1 - Ориентировочные значения понижений свободной поверхности на подходном участке гребенки, работающей в подтопленном режиме истечения

Особенности конструкции пролетов гребенки	$z_в/\Delta z_o$ (x/H=0)	$z/\Delta z_o$ на различных относительных расстояниях от напорной грани		
		0,5	1,0	2,0
Прямоугольный в поперечном сечении широкий	0,20-0,25	0,1	0,05	0
Со скругленным входным ребром, широкий	0,30-0,40	0,15	0,05	0
Узкий	0,15-0,20	0,10	0,03	0

При расчете перепада на сооружении следует использовать следующую зависимость

$$\Delta z_o = H + \frac{V_o^2}{2g} + \Delta z_{вс}, \qquad (К.4)$$

где $\Delta z_{вс}$ – перепад восстановления на сооружении, который может устанавливаться с учетом рекомендаций [6].

Для определения понижений уровней воды на сооружении по данным таблицы К.1 допускается использовать перепад на сооружении без учета скоростного напора на подходе.

К.4 Длину ледяных полей, отламывающихся на кривой спада свободной поверхности перед гребенкой, необходимо устанавливать по формуле:

$$\ell_1 = 2{,}3\sqrt{\frac{h_d R_f}{\rho g}}, \qquad (К.5)$$

где h_d – толщина льда.

К.5. Следует учитывать изменение перепада уровней воды перед гребенкой с выдвинутыми быками от верховой грани гребенки в сторону верхнего бьефа в первом приближении на основе формул (К.1) и (К.3) при различных расходов воды в ледоход.

Приложение Л
(обязательное)

Нагрузка от движущегося льда на гребенку бетонных плотин

Л.1 Нагрузка от движущейся льдины на бык с вертикальной передней гранью в соответствии со схемой приложения нагрузки, показанной на рисунке Л.1, или другой вертикальный элемент сооружения любой протяженности (напорная грань водосливной плотины, затвор, шпунтовая стенка, забральная балка и др.) $F_{b,i}$, МН, определяется по формуле

$$F_{b,i} = \sigma_e d h_d, \qquad (Л.1)$$

где σ_e – эффективное давление льда, МПа, определяемое выражением

$$\sigma_e = k_{v,c} k_d t_u; \qquad (Л.2)$$

где m – коэффициент формы передней грани элемента сооружения в плане (быка), определяемый для передней грани в виде треугольника с углом заострения в плане $2\gamma = 45 \div 180^{o}$ выражением m =1-0,79 (1-2γ/180); для передней грани в виде прямоугольника как $m = 1$, а для передней грани в виде многогранника или полуциркульного очертания - m = 0,82;

$k_{v,c}$ – коэффициент скорости деформации льда при сжатии, принимается по СП 38.13330.2012;

k_d - коэффициент снижения прочности льда после первой подвижки ледяного покрова, принимается в соответствии с СП 38.13330.2012;

t_u - температура на границе снег (воздух) - лед, ^{o}С.

Нагрузка приложена в точке, заглубленной под уровень воды на $0{,}4h_d$, где h_d – толщина льда.

Л.2 Нагрузка от движущегося затора на бык с вертикальной передней гранью, порог гребенки или другой вертикальный элемент сооружения (напорная грань водосливной плотины, затвор, шпунтовая стенка, забральная балка и др.) определяется по СП 38.13330.2012.

Л.3 Нагрузка от движущегося льда на бык с вертикальной передней гранью, порог гребенки или другой вертикальный элемент сооружения (напорная грань водосливной плотины, затвор, шпунтовая стенка, забральная балка и др.) определяется по СП 38.13330.2012.

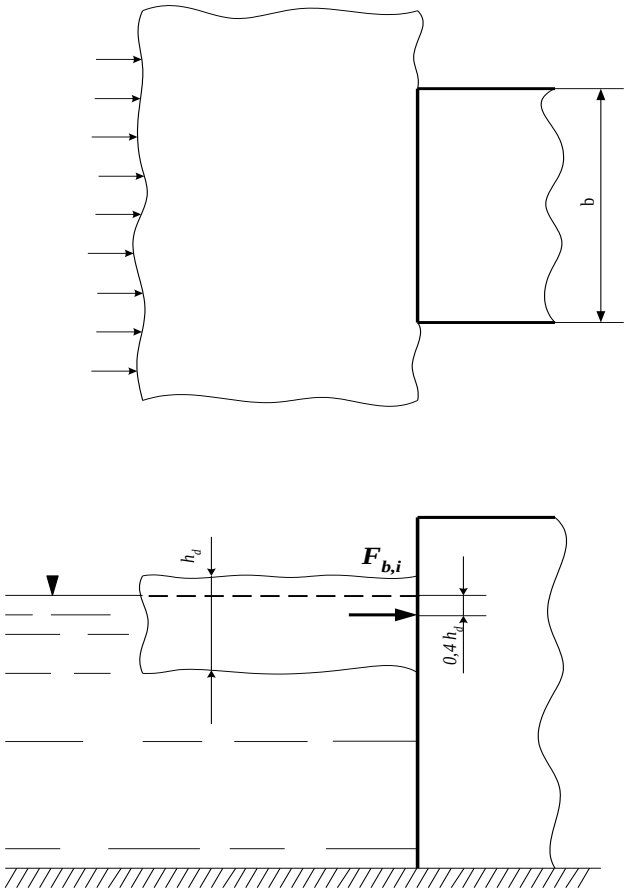


Рисунок Л.1 - Схема приложения нагрузки от движущейся льдины на бык с вертикальной передней гранью

Л.4 Нагрузка от движущейся льдины на бык с наклонной ледорезной гранью в соответствии со схемой приложения нагрузки, показанной на рисунке Л.2, определяется по формулам:

а) горизонтальная составляющая нагрузки

$$F_h = k_f k_{v,f} R_f b_i h_d; \qquad (Л.3)$$

б) вертикальная составляющая нагрузки

$$F_v = F_h \operatorname{tg}\beta, \qquad (Л.4)$$

где k_f - коэффициент формы ледореза, принимаемый по таблице И1;

$k_{v,f}$ - коэффициент скорости нагружения льда при изгибе; принимаемый по таблице Е3;

R_f - прочность льда при изгибе, принимаемая при отсутствии данных специальных испытаний, равной 0,5 МПа;

β - угол наклона ледорезной (передней) грани элемента сооружения к горизонту, град.

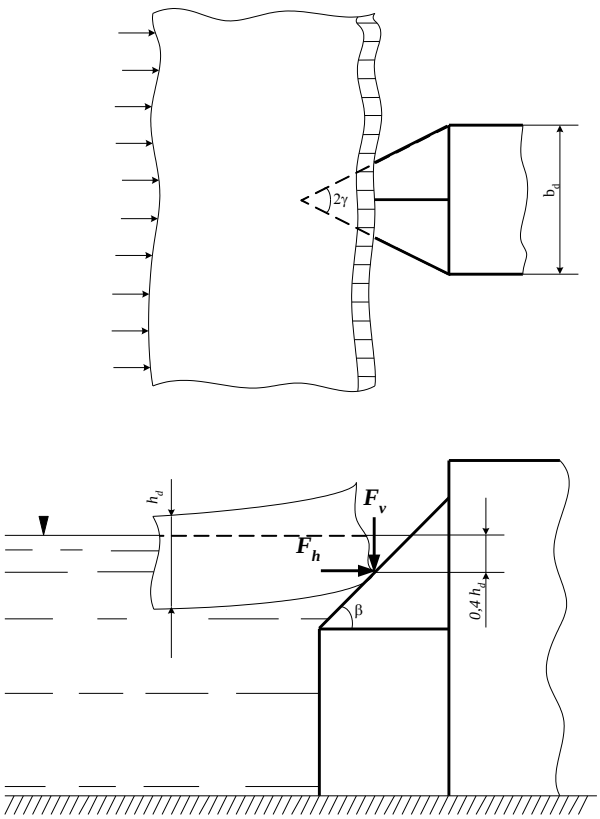


Рисунок Л.2 - Схема приложения нагрузок от движущейся льдины на бык с наклонной ледорезной гранью

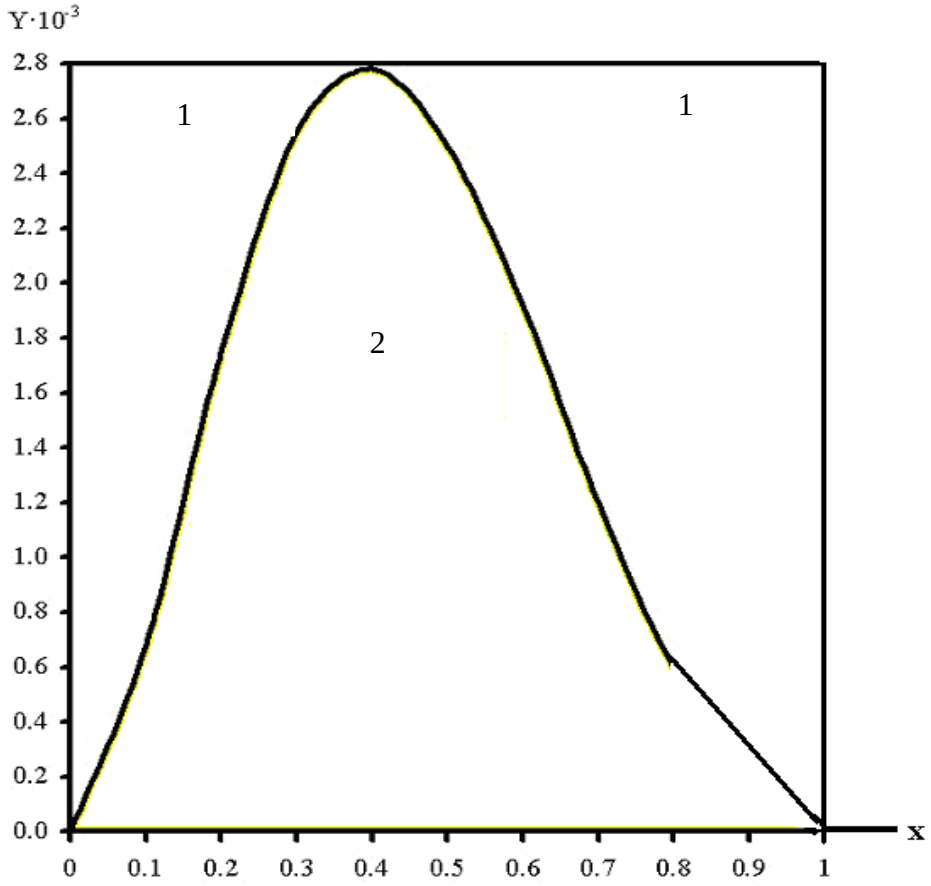
Л.5 Нагрузка от движущегося тороса на бык с наклонной ледорезной гранью определяется по формулам (Е.3)-(Е.9) (приложение Е). Точка приложения нагрузок от движущейся льдины на бык с наклонной ледорезной гранью заглублена под уровень воды на $0{,}4h_i$.

Приложение М
(справочное)

Пропуск шуги через глубинные водосбросы

Для пропуска шуги через глубинные водосбросы необходимо выбрать режим расходов, способствующий движению шуги по водосбросам без остановки и образования шугового ковра, создающего дополнительное гидравлическое сопротивление для потока воды.

Режим перемещения шуги в потоке может быть определен по диаграмме на рисунке М.1, где $x = \frac{h_ш}{H}$, $Y = \frac{Q^2}{gB^2}$, где $h_ш$ - толщина слоя шуги.



1 – зона свободного перемещения шуги;
2 – зона всплывания шуги и образования шугового ковра

Рисунок М.1 - Диаграмма для определения режима перемещения шуговой массы

Попадание расчетных точек внутрь зоны, ограниченной линией графика, соответствует остановке и всплыванию льда с образованием шугового ковра или образования ледяного покрова при смерзании частиц шуги.

Безостановочное движение шуги по длине глубинного водосброса будет иметь место, когда относительная толщина слоя шуги при заданном скоростном параметре Y выйдет за границу стабильности.

Приложение Н
(справочное)

Способы остановки льда выше створа сооружений

Для остановки льда выше створа сооружений могут применяться плавучие ограждающие устройства в виде запаней, позволяющих как задерживать поверхностный лед, так и направлять его в другие безопасные места. Конструкция запани обычно представляет собой ряд объединенных шарнирами звеньев (из соединенных цепями или болтами бревен или в виде понтонов). Более надежные запани оборудуются погруженной в воду забральной стенкой в виде ледозащитного козырька, дополнительно исключающего подныривание льда. Закрепление концов запани предполагает возможность ее вертикального перемещения при изменении уровня воды.

В качестве примера могут быть предложены несколько вариантов запаней, показанных на рисунках Н.1, Н.2, Н.3.

Одним из способов остановки льда является образование искусственных заторов на безопасных по условиям заторного подъема уровней участках реки.

Для этой цели может служить система из нескольких устраиваемых (под углом 45° к берегу реки) шпор (полузапруд) по обоим берегам реки. Расстояние между осями полузапруд не должно превышать двух ширин реки в период межени как показано на рисунке Н.4.

Прочностные расчеты податливых сооружений выполняются по СП 38.13330.2012.

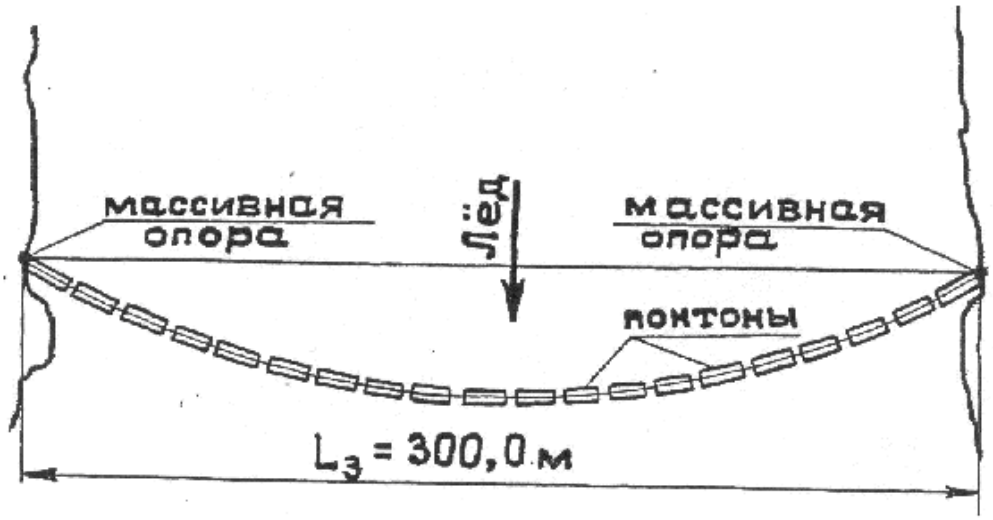


Рисунок Н.1 - Однопролетная ледоудерживающая запань, закрепленная на массивных опорах

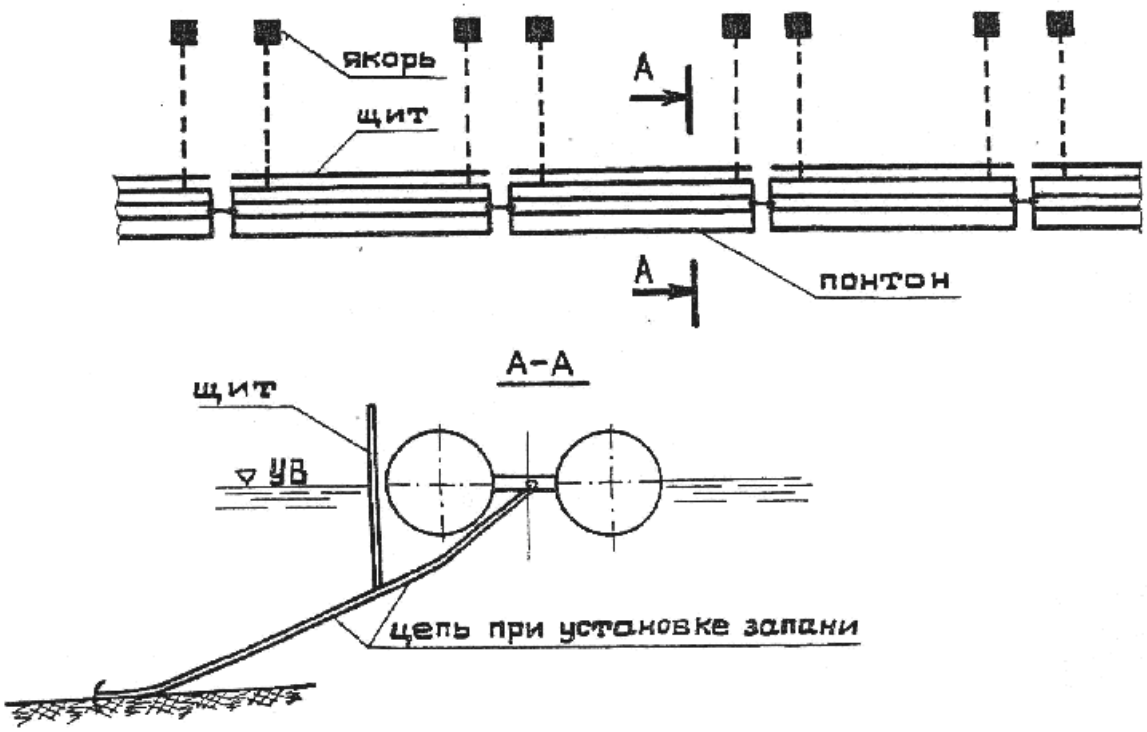


Рисунок Н.2 - Однопролетная ледоудерживающая запань, закрепленная якорями на одной прямой линии

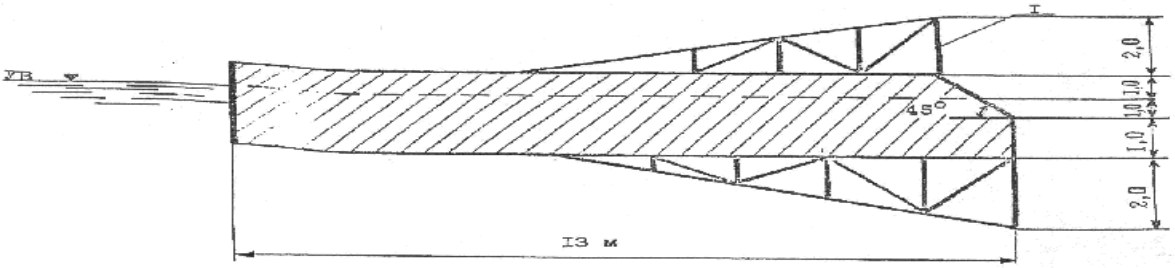


Рисунок Н.3 - Рекомендуемый профиль поперечного сечения понтона с козырьком, используемого в составе запани для предотвращения подныривания и навала льда.

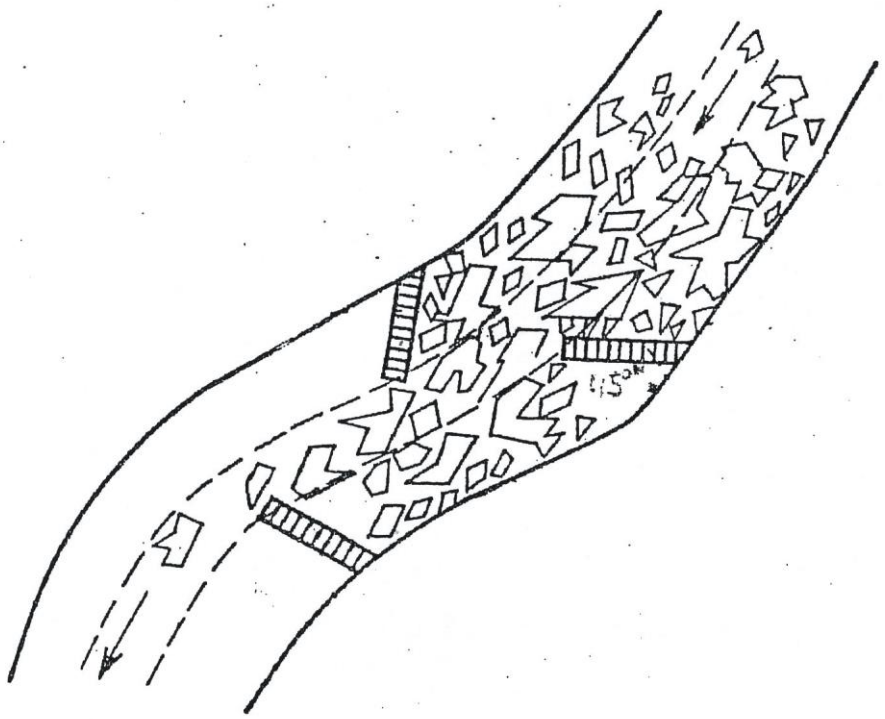


Рисунок Н.4 - Устройство полузапруд для создания искусственного ледяного затора

Приложение П
(справочное)

Образование ледяных арок – начальный этап остановки льда перед сооружением и начало процесса заторообразования

Пропуск льда через створ гидротехнических сооружений бывает затруднен остановкой льда перед сооружением с образованием арок, являющихся предтечей навалов и заторов льда. Прогноз этого явления весьма сложен из-за неуправляемого поведения льда вблизи сооружения. Имеется достаточно много попыток предсказать процесс образования арок из льда самыми различными методами: экспериментальным, аналитическим и статистическим чрезвычайно важной деталью прогноза мест образования заторов.

Как правило, рассматривается задача пропуска льда через ограниченное тем или иным образом сечение потока, имеющее препятствия для пропуска льда, установленные в русле в виде разделительных бычков или опор мостов. Рассматривается четыре основных параметра, определяющих остановку и задержку льда перед сооружением. Это – размеры льдин, просвет между опорами или бычками, концентрация битого льда, подходящего к створу сооружения и внутреннее трение между льдинами.

Геометрия сооружения может соответствовать рисунку П.1, на котором показано: l – размер льдины, b_1 - пролет между бычками или опорами.

Образование арок происходит тогда, когда гранулированный или раздробленный лед, проходит через отверстие, как это показано на рисунке П.1.

Так как частицы взаимодействуют с фиксированной границей, они теряют энергию и концентрируются.

Арка может образовываться после остановки частиц, упирающихся в границу отверстия, и приостанавливающих движение следующих за ними частиц.

Ледяные фрагменты в реке, узком канале или озере могут также образовывать арки на естественных или искусственно созданных границах, таких, как опоры мостов.

Образование ледяных арок между опорами моста часто ведет к образованию ледяных заторов. Образование ледяного затора может быть результатом забивки живого сечения, перекрывающего поток.

В некоторых случаях образование затора может ограничивать пропуск льда. Имеются некоторые натурные данные по регулированию параметров, инициирующих образование арки.

Каждый из четырех параметров имеет три вариации для общих 81 (3^4) перестановок. С каждым значением внутреннего трения могут сочетаться все остальные параметры (концентрация, расстояние между опорами и площадь льдин). Потребовалось рассмотреть только 27 различных сочетаний параметров. Не было необходимости преобразовывать некоторые сочетания. Например, если затор образуется при трении между льдинами $f_{ё}$ = 0,2, то он будет также при более высоком трении. Соответственно,

если затор не образуется при внутреннем трении $f_{ё}$ = 0,2, то он не будет образовываться при более низком трении.

Точки, отбираемые из первоначального распределения, были случайным образом включены в этот источник площади при концентрации 100 %. Число отдельностей генерировалось также как число точек, входящих в рассматриваемую область. Таким образом, значение площади льдин определялось числом входящих точек.

Выполнено моделирование для льдин площадью 5000 м^2, проходящих мимо опор, установленных с просветом 200 м. Концентрация льда 52 %, межслойное трение 0,2. Ясно, что происходило образование арок, которое отличалось различной степенью стабильности.

Иногда льдины быстро образовывали арку и формировали затор, который являлся стабильным, в то время как в других случаях образование арок было маловероятным или не наблюдается вовсе. Была предложена система ранжирования в виде таблицы П.1

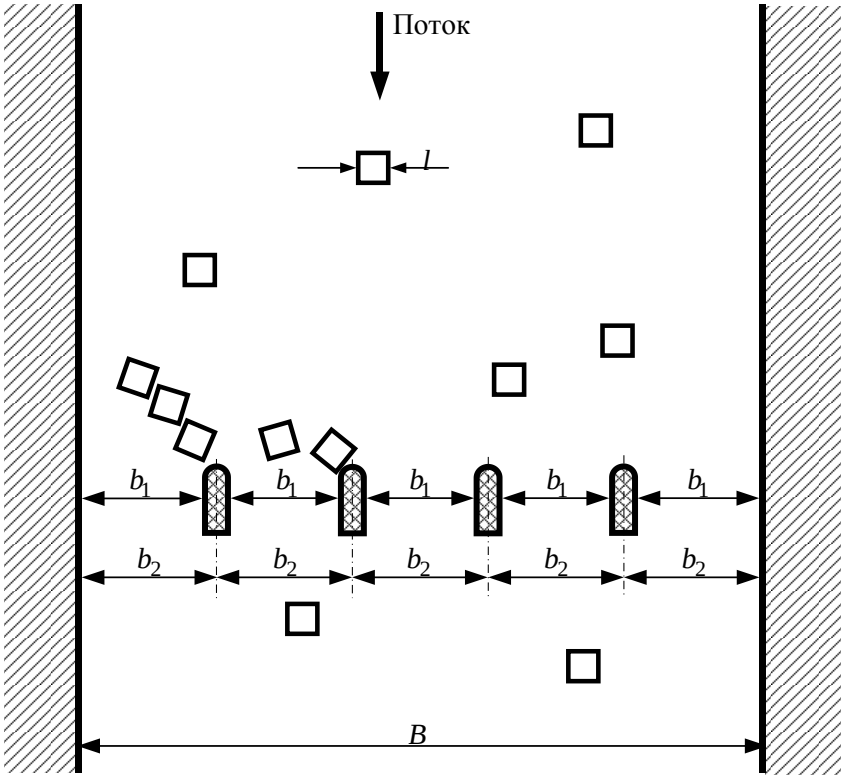


Рисунок П.1 - Образование ледяной арки

Т а б л и ц а П.1 - Система ранжирования процесса образования арок

0	Нет арки, малое внутреннее трение на межслойном контакте.
1	Временное образование арок, (менее 12 минут).
2	Значительное образование арок, (более 12 минут).
3	Стабильная арка, ожидается неопределенно долго.

Каждое испытание было ранжировано, используя приведенные выше критерии. Исследование проводилось для трех значений межслойного коэффициента трения.

В каждом случае зависимость представлялась в виде

$$\frac{C_0}{100} = exp\left(-q\frac{\sqrt{\sum l^2}}{\sum b_1}\right). \qquad (П.1)$$

Выше этой линии образование арок весьма вероятно, а ниже её - маловероятно. Мы видим, что как только концентрация льда начинает увеличиваться, расстояние между опорами также должно увеличиваться, чтобы избежать образования арки. Соответственно при увеличении размеров льдины расстояние между опорами также должно увеличиваться. Было определено, что значение "q" в формуле (П.1), которое было равно 0,86; 1,86; 2,37 и 3,87 соответственно для коэффициентов трения 0; 0,2, 0,4 и 0,6. Тогда q может быть выражено как линейная функция межледного трения

$$q = 0{,}87 + 5{,}0\ \mathrm{f}_{\ddot{e}}. \qquad (П.2)$$

Подставляя (П.2) в (П.1) получаем общее выражение для критической концентрации как

$$\frac{C_0^*}{100} = exp\left(-\left(0{,}87 + 5{,}0\ \mathrm{f}_{\ddot{e}}\right)\frac{\sqrt{\sum l^2}}{\sum b_1}\right). \qquad (П.3)$$

Если действительная концентрация выше, чем ее критическое значение, образование арки будет обязательно.

На рисунке П.2 представлено влияние межледного трения на критическое значение концентрации.

В случае, если трение равно 0, только большие куски, проходя через сужение пролета при высокой концентрации льда будут образовывать арки. С другой стороны, при коэффициенте межледного трения равного 0,4, с малыми кусками льда при низких концентрациях льда все равно будут образовываться арки.

В исследовании дискретные элементы были использованы достаточно успешно, чтобы смоделировать поток массы льда через опоры мостов. Такие параметры как начальная концентрация, размеры льдины, расположение опор и межледное трение систематически варьировались. Моделирование показало, что межледное трение – очень важный параметр при определении того, будут ли образовываться арки или нет.

Таким образом, можно говорить о некотором качественном сравнении с экспериментом.

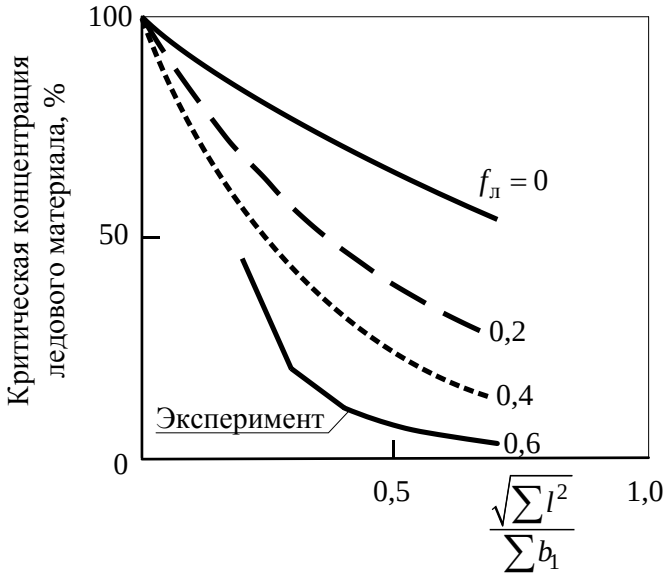


Рисунок П.2 - Влияние значения коэффициента межлёдного трения на величину критической концентрации

Приложение Р
(справочное)

Условия задержки льда в верхнем бьефе сооружения для снижения прочности льда

Р.1 Для задержания льда перед сооружениями средняя скорость потока v_{cp} перед гидроузлом на участке длиной до 15 B, где B - ширина реки, должна быть меньше следующих значений:

а) при прямолинейном очертании берегов

$$v_{cp} = 4{,}9\sqrt{\frac{h_d R_f}{B}}; \qquad (Р.1)$$

б) при криволинейном очертании берегов значение v_{cp}, полученное по формуле (Р.1), увеличивается на 30 %;

в) с учетом глубины реки перед сооружениями при прямолинейном очертании берегов

$$v_{cp} = k \cdot 5{,}63\sqrt{\frac{h_d R_f}{B}}, \qquad (Р.2)$$

где $k = \sqrt{\dfrac{1}{1 + 10\dfrac{h_d}{h}}}$;

h - глубина воды, м; при криволинейном очертании берегов значение v_{cp}, полученное по формуле (Р.2), увеличивается на 30 %;

г) при наличии данных о коэффициентах шероховатости дна водотока n_1 и нижней поверхности льда n_2:

$$v_{cp} = k \cdot C_{гр} \cdot 0{,}63\sqrt{\frac{h_d R_f}{B}}, \qquad (Р.3)$$

где $k = C_{гр}\sqrt{\dfrac{1}{\eta_2 + \dfrac{\rho_i h_d}{\rho_w h}}}$;

где $\eta_2 = h_2/h$ - относительная глубина воды под ледяным покровом;

h_2 - глубина воды от нижней поверхности ледяного покрова до линии максимальной скорости течения на эпюре $v = f(h)$,

ρ_w - плотность воды;

$C_{пр} = \dfrac{R_i^{1/6}}{n_{пр}} = f(h)$ - приведенный коэффициент Шези;

$n_{пр} = \dfrac{n_1}{(1-n_2)^{3/2} - n_2^{3/2}}$ - приведенный коэффициент шероховатости русла с ледяным покровом;

R_i - гидравлический радиус русла при наличии ледяного покрова.

В случае невозможности определения h_2

$$n_2 = (0{,}5 \div 0{,}9)\, n_1 \tag{Р.4}$$

Р.2 Задержание льда перед сооружениями обеспечивается:

а) для случая строящейся плотины с глубинными водосбросами – путем обеспечения необходимого заглубления верха входного отверстия, определяемого по формулам (Р.3) и (Р.5);

б) для случая водосливной плотины – путем обеспечения необходимого значения открытия затвора, определяемого по формуле

$$a = \frac{Q_{\Sigma}}{H\sqrt{2g(H-H_1)}}; \tag{Р.5}$$

в) для случая сплошной запани или забральной стенки путем обеспечения условия $v < v_{cr}$, где v_{cr} определяется по формуле (Р.2).

Ряд примеров технических решений, обеспечивающих остановку и задержание льда до сооружения, приведен в приложении Н.

Р.3 Продолжительность временного задержания льда ($\Delta\tau$, сут) на реке выше сооружений с целью его ослабления и сброса в дальнейшем через сооружения следует определять по следующим формулам.

Р.3.1 При наличии данных о прочности льда на момент вскрытия реки ниже сооружений

$$\Delta\tau = \frac{\Delta R}{k}, \tag{Р.6}$$

где $\Delta R = R_{0f} - R_f$ - понижение прочности льда на изгиб, МПа;

R_{0f} - прочность льда на изгиб на момент вскрытия реки ниже сооружений, МПа;

R_f - необходимая прочность льда на изгиб к моменту его пропуска через сооружения, МПа;

k_R - интенсивность понижения прочности льда, принимаемая равной: 4 МПа за сутки для водного льда, 2 МПа за сутки для шугового льда.

Примечание - Значение k_R рекомендуется уточнять на основании материалов натурных исследований.

Р.3.2 При наличии прогностических данных о среднесуточных температурах воздуха значение $\Delta\tau$ определяется по сумме этих температур с помощью графика зависимости $\Sigma\theta = f(\tau)$ с использованием формулы:

$$\frac{R_f}{R_{0f}} = 1 - 0{,}015(\Sigma\theta), \qquad (Р.7)$$

где $\Sigma\theta$ - сумма положительных среднесуточных температур воздуха за период $\Delta\tau$, определяемая по кривой $\Sigma\theta = f(\tau)$, построенной в соответствии с прогнозом температур воздуха.

Р.3.3 При наличии прогностических данных о продолжительности задержания льда снижение прочности льда определяется по формуле

$$\frac{R_f}{R_{0f}} = \left(1 - \sqrt{\frac{S'}{S_0}}\right)^2, \qquad (Р.8)$$

где R_f - разрушающее напряжение льда (временное сопротивление льда изгибу), подвергшегося облучению, МПа;

R_{0f} - разрушающее напряжение льда, не подвергшегося облучению, МПа;

S' - количество поглощенной льдом солнечной радиации (за период $\Delta\tau$), Дж/м^3;

S_0 - количество поглощенной теплоты, необходимое для полной потери льдом его прочности (рассыпание льда на отдельные кристаллы), Дж/м^3, которое следует принимать равным:

для волокнистого льда – $0{,}67 \cdot 10^8$ Дж/м^3;

для зернистого льда - $1{,}13 \cdot 10^8$ Дж/м^3;

для шугового льда - $1{,}46 \cdot 10^8$ Дж/м^3;

для снежного льда – $2{,}29 \cdot 10^8$ Дж/м^3.

При неизвестном виде льда следует принимать среднее значение S_0, равное $1{,}83 \cdot 10^8$ Дж/м^3.

Р.4 Уменьшение толщины ледяного покрова Δh_d, м, за период задержания льда, определяется по формуле:

$$\Delta h_d = \frac{\sum S\,\Delta\tau}{\rho_i\, r}, \qquad (Р.9)$$

где $\sum S$ - суммарная плотность теплового потока на верхней и нижней поверхностях ледяного покрова, Вт/м^2;

$\Delta\tau$ - продолжительность задержания льда, ч;

r - удельная теплота фазового перехода, равная $3{,}35 \cdot 10^5$ Дж/кг;

$$\sum S = \sum S_1 + S_2 \ , \qquad (Р.10)$$

где $\sum S_1$, S_2 - плотность теплового потока на верхней и нижней поверхностях льда, соответственно, Вт/м^2,

$$\sum S_1 = S_{\hat{e}} + S_u + S_R ; \qquad (Р.11)$$

$$S_k = \alpha_{вод}(t_л - \vartheta_{вод}) ; \qquad (Р.12)$$

$$S_u = 2B(W + W_c) ; \qquad (Р.13)$$

$$S_R = [illegible] . \qquad (Р.14)$$

где

$(Q + q_0)$	-	суммарная солнечная радиация на уровне воды при альбедо равном нулю, Вт/м^2
A	-	альбедо;
k	-	коэффициент, учитывающий широту местности;
c_1	-	коэффициент, учитывающий распределение эффективного излучения в атмосферу по широте местности;
n	-	общая облачность, баллы;
T_ϑ	-	абсолютная температура воздуха на высоте 2 м,^{0}С;
T_n	-	абсолютная температура поверхности воды,^{0}С;
e	-	упругость водяного пара, Па;
e_0	-	максимальная упругость водяного пара, Па;

Расчет составляющих теплового баланса следует выполнять по рекомендациям [10].

Р.5 Расчет коэффициента теплоотдачи от поверхности льда (снега) к воздуху рекомендуется производить по следующей формуле:

$$\alpha_{вод} = BW \text{, Вт/(м}^2\text{·К)} , \qquad (Р.15)$$

где W - скорость ветра, м/с; коэффициент B определяется по таблице Р.1.

Таблица Р.1 - Зависимость коэффициента B в формуле (Р.15) от температуры воздуха

ϑ, °С	-40	-30	-20	-10	0	10
B, Дж/(м^3·К)	7,12	6,88	6,67	6,48	6,27	6,07

Р.6 Температура поверхности льда должна определяться по формуле

$$t_л = \frac{\vartheta_{вод}/\lambda_л}{1/\alpha_{вод} + h_л/\lambda_л} ; \qquad (Р.16)$$

при наличии снежного покрова температура поверхности снега:

$$t_n = \vartheta - \frac{h_{d.o}\,\lambda_i\,\lambda_s}{K\,\alpha_в\,h_{d.o}\,\lambda_i\,\lambda_s}; \qquad (Р.17)$$

где $h_{d.o}$ - толщина льда в начале расчетного периода;

h_s - толщина слоя снега.

Р.7 Интенсивность теплового потока при испарении с поверхности льда следует находить по формуле (Р.13), в которой K определяется как функция разности температур поверхности льда и воздуха по таблице Р.2.

Т а б л и ц а Р.2 - Значение коэффициента K в формуле (Р.14) в зависимости от разности температур поверхности льда и воздуха

$t_n - \vartheta$, °С	0	1	2	3	4	5
K, м/с	1,28	1,62	1,92	2,10	2,25	2,46
$t_n - \vartheta$, °С	6	8	10	15	20	
K, м/с	2,60	2,86	3,10	3,60	4,00	

Р.8 Значения радиационной составляющей на поверхности льда с атмосферой следует рассчитывать по данным, указанным в рекомендациях [10].

Р.9 Плотность теплового потока на нижней поверхности ледяного покрова определяется по формуле

$$S_2 = \alpha_в (t - t_n), \qquad (Р.18)$$

$\alpha_в = 2640\,v$, Вт/(м^2·К);

где v - скорость течения воды под ледяным покровом, м/с.

Приложение С
(справочное)

Данные о пропуске ледоходов через сооружения гидроэлектростанций России и СНГ

Т а б л и ц а С.1 - Условия пропуска льда через створ сооружения

Название ГЭС	Реки; их ширина В, м	Год	Состав ледосбросного фронта	Характер пропуска льда
1. Усть-Каменогорская	Иртыш; 270	1950	Суженное русло, b = 130 м	Успешный пропуск льда
		1951	Гребенка с низким порогом. Три пролета по 18 м. Быки толщиной 4 м.	То же
		1952	Гребенка с высоким порогом. Три пролета по 18 м	То же
2. Камская	Кама; 860	1951	Суженное русло, b = 360 м	В сужении задержки льда на 30-50 мин с подъемом уровня на 0,7-1 м
		1952-1953		Успешный пропуск льда через сужение
		1955	Гребенка с шестью низкими пролетами и 11 высокими по 12 м в свету. Быки толщиной 4 м	При пропуске воды из-под затвора лед останавливался в верхнем бьефе, с увеличением расхода и открытием пролетов с высоким порогом лед беспрепятственно проходил через гребенку

Продолжение таблицы С.1

3. Иркутская	Ангара; 900, из них 500 - основное русло	1952-1956	Суженное русло, b =(500-135) м	Весной 1956 г. выше сужения в створе перекрытия, а затем в сужении кратковременный затор
4. Новосибирская	Обь; 900	1952-1956 1957 1958 1959	Суженное русло, b = (600-350) м Гребенка с низким порогом. Восемь пролетов по 20 м, обтекаемые быки толщиной по 4 м Гребенка с высоким порогом Водосливные пролеты плотины	Успешный пропуск льда Через пролеты успешный сброс льда. Авария бетоновозной эстакады в НБ в период пропуска льда Успешный пропуск льда после предварительного задержания Частичный сброс ослабленного льда
5. Куйбышевская	Волга (протока Телячья воложка); 910	1956 1957	Гребенка с 38 пролетами по 20 м в свету. Быки толщиной 4 м Гребенка с 38 пролетами по 20 м в свету. Быки толщиной 4 м	Успешный пропуск льда при напоре на пороге от 4 до 9 м Успешный пропуск льда при напоре на пороге до 12 м
6. Бухтарминская	Иртыш; 220	1956-1957 1958 1959	Суженное русло, b = 110 м Гребенка с низким порогом. Три пролета по 18 м. Раздельные обтекаемые быки толщиной по 4 м То же	Успешный пропуск льда За 3 дня до начала пропуска льда отмечены кратковременные остановки льда перед пролетами

Продолжение таблицы С.1

		1960	Три донных водосброса с размерами 6×6 м	Задержание льда до его полного разрушения в условиях наполнения водохранилища
7. Мамаканская	Мамакан; 150	1958-1959 1960 1961	Суженное русло, b = 78 м Гребенка с низким порогом. Пролет шириной с ВБ 30 м. Два донных водосброса с размерами 6×6 м. Гребенка с высоким порогом. Пролеты шириной 12 – 36 м, 2 донных водосброса размерами 6×6 м	Успешный пропуск льда Пропуск льда в основном через гребенку с низким порогом. Успешный пропуск основной массы льда через 2 донных водосброса при затоплении их потолка на 4 м
8. Братская	Ангара; 850	1957-1958 1959 I960 1961	Суженное русло, b = 300 м Суженное русло, b =280 м, на участке в 110 м были установлены трубчатые опоры для моста перекрытия. Расстояние между опорами 21 м Гребенка с низким порогом. 11 пролетов шириной по 12 м. Раздельные быки, прямоугольные, толщиной 10 м 6 донных водосбросов шириной 12 м, высотой 10 м	Успешный пропуск льда Успешный пропуск льда Кратковременный затор льда перед пролетами Пропуск льда после предварительного его задержания при затоплении потолка входного сечения на 0,5-1.5 м

Продолжение таблицы С.1

9. Красноярская	Енисей; 700	1960-1961	Суженное русло b=330 м	Успешный пропуск льда при его кратковременных остановках
		1962	Суженное русло b=330 м	То же
		1963	Гребенка с низким порогом. 6 пролетов по 21 м, один пролет 15 м. Обтекаемые быки толщиной 5-9 м.	Кратковременные остановки льдин только перед пролетом шириной 15 м
		1964	2 пролета с высоким порогом шириной по 15 м; 4-5 донных водосбросов шириной 6 м, высотой 12 м	Пропуск льда после временного его задержания. Кратковременные остановки льдин перед одним из пролетов. Успешный сброс льда через донные водосбросы при затоплении их потолка на 6,5-8,5 м
		1965	4 донных водосброса размером 6×12 м	Успешный пропуск льда после временного задержания при затоплении потолка водосбросов на 0-3 м. Отмечены кратковременные остановки на входе в водосбросы отдельных прочных льдин
		1966	2-13 донных водосбросов размером 6×12 м	Успешный пропуск льда после временного задержания при затоплении

Продолжение таблицы С.1

		1967	8 донных водосбросов размером 5×5 м	потолка водосбросов на 2-12 м. Успешный пропуск льда после временного задержания ледохода в условиях наполнения водохранилища
10. Вилюйская	Вилюй; 220	1963 1964 1965-1966 1967	Суженное русло, b = 200 м То же, b = 80 м и строительная береговая траншея шириной 25-35 м Береговая строительная траншея шириной 25-35 м Береговой эксплуатационный водосброс шириной 40 м	Успешный пропуск льда Пропуск основной массы льда через сужение. Успешный пропуск льда Пропуск ослабленного льда через береговой эксплуатационный водосброс после временного задержания ледохода в водохранилище
11. Токтогульская,	Нарын	1965-1967	Безнапорный строительный туннель шириной 12 м. Перед туннелем сужающийся подходной канал длиной до 60 м с глубинами ниже критических	Успешный пропуск зимой шуго-ледяных полей длиной до 20 м и толщиной до 2 м
12. Серебрянская 1	Воронья	1967-1968 1969	Бетонная труба на берегу в основании плотины с размерами 9,7×8,7 м. Открытый канал поверх трубы Бетонная труба	Труба затоплена, успешный пропуск льда по каналу Задержание льда при заглублении

Продолжение таблицы С.1

				потолка трубы более, чем на 15 м. Успешный пропуск льда при заглублении потолка под уровень воды на 8-10 м
13. Хантайская	Хантайка	1968-1969	Грунтовые перемычки, являющиеся упорами плотины. Верховая перемычка каменнонабросная. Низовая перемычка была защищена сверху обломочным материалом массой до 6 т, её упорным элементом являлся обетонированный ряж, за которым выполнено креплением из обломочного материала массой 6-8 т, отдельности которого были перевязаны тросами. Строительный туннель сечением 10×10 м	В 1968 г. при пропуске воды и льда на ширине 10-15 м смыло негабариты с гребня низовой перемычки перед ряжем. Образовались трещины на бетонной плите ряжа, размыло крепление за ряжем. После ремонта поводок 1969 г. пропущен без существенных повреждений. Льдины часто останавливались перед входом в туннель. При затоплении его потолка на 12 м подныривание льдин не наблюдалось
14. Усть-Илимская	Ангара	1967	Суженное русло	Прорыв затора выше створа гидроузла, подъем уровня воды и перелив через гребень поперечного верхового участка перемычки с её размывом в двух местах

Продолжение таблицы С.1

		1968-1969 1970-1972	Гребенка с 11 пролетами шириной 12 м. Быки толщиной 10 м. Стеснение русла 0,15	Успешный пропуск льда Лед ломался на перепадах у о. Правый Лосенок, у верховой перемычки котлована 1 очереди. Через сооружения пропуск льда был осуществлен беспрепятственно
15. Саяно-Шушенская	Енисей; 350	1970-1975 1976-1978	Суженное русло, b=130 м 9 донных водосбросов с размерами на входе 13×5,3 м, разделенных быками шириной 10,8 м с плоской передней гранью	Длительная задержка льда в сужении перед перемычкой в 1970 г., отмечались задержки льда в 1971 г., в последующие годы лед проходил беспрепятственно. Успешный пропуск льда. Глубина на входе не превышала 11,5-12 м, донные водосбросы работали как гребенка. Наблюдалась закупорка льдом верхней части входного сечения отверстий и подныривание льдин
16. Зейская	Зея; 330	1973	Суженное русло, b=140 м. Гребенка с низким порогом. Два пролета по 23 м и шесть пролетов по 8 м. Быки толщиной 7 м	Пропуск льда после его задержки в трех левобережных пролетах (двух широких) и серии взрывов

Продолжение таблицы С.1

		1974	10 донных водосбросов с размерами 11,5×8 м. Шесть центральных водосбросов имели ширину в верхней части 5 м	Пропуск льда после предварительного задержания при затоплении входного сечения на 8-9 м. Остановка при пропуске льда через один полностью открытый водосброс и два частично открытых, связанная с накоплением леса. Пропуск льда и леса обеспечен при полном открытии 3-х водосбросов
17. Курейская ГЭС	Курейка	1986	Входной оголовок туннеля с тремя пролетами, имевшими на входе ширину 6 м и высоту около 13 м. Два скругленных промежуточных быка толщиной на входе 2,9 м. Перед входом в туннель криволинейный в плане канал шириной по дну 26 м	На поверхности воды перед туннелем происходили скопления льда, но льдины подныривали под эти скопления и проходили в нижний бьеф
18. Богучанская ГЭС	Ангара	1985-1986 1987	Суженное русло, b=440 м 5 донных водосбросов размером 14×12 м	Успешный пропуск льда

Библиография

[1] СО 34.21.308-2005 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. Утвержден Бизнес единицей «Гидрогенерация» РАО «ЕЭС России» 12.04.2005.

[2] РД 153-34.2-02.409-2003 Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду. Утверждены Департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 24.01.2003.

[3] ВСН 34.3-89 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для гидроэнергетического строительства. Утверждены приказом Министерства энергетики и электрификации СССР от 26.05.1989 № 98а.

[4] СО 34.21.145-2003 Методические указания по пропуску льда через строящиеся гидротехнические сооружения. Утверждены Департаментом научно-технической политики и развития ОАО РАО «ЕЭС России» 18.07.2003.

[5] СНиП 3.07.01-85 Гидротехнические сооружения речные. Утверждены Постановлением Госстроя СССР от 08.04.1985 № 47.

[6] П18-74/ВНИИГ Рекомендации по гидравлическому расчёту водосливов.

[7] ВСН 029-70/Минэнерго СССР Указания по расчету систем обогрева элементов гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений». Утверждены Минэнерго СССР 23.01.1970 решением № 360.

[8] СО 153-34.20.501-2003 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утверждены Минэнерго РФ 19.06.2003. Зарегистрированы в Минюсте РФ 20.06.2003 № 4799.

[9] Методические рекомендации по предотвращению образования ледовых заторов на реках Российской Федерации и борьбе с ними» / ФЦ ВНИИ ГОЧС, 2003.

[10] П28-86/ВНИИГ Рекомендации по расчету длины полыньи в нижних бьефах ГЭС. Утверждены ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева 12.05.1986.

УДК _____ ОКС_____

Ключевые слова: водосливные плотины, гидротехнические сооружения, гидроэлектростанция, гребенка бетонной плотины, зажоры, заторы, ледосбросные сооружения, ледоход, навалы льда, обводные каналы и береговые водосбросы, проектирование, пропуск льда, строительные глубинные водосбросы, строительные туннели и трубы, строительство, суженное русло, схемы пропуска льда, шугоход, эксплуатация.

Руководитель организации-разработчика
НП «Гидроэнергетика России»
Исполнительный директор

_____Р. М. Хазиахметов

Руководитель разработки,
Главный эксперт, к. т. н. _____В. С. Серков

Соисполнитель
ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева

Научный руководитель – Первый заместитель генерального директора, д. т. н. _____В. Б. Глаговский

Руководитель разработки
Ведущий научный сотрудник, к. т. н. _____И. Н. Шаталина