МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Г. Д. ХАСХАЧИХ
"4" мая 1984 г

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НАДВИГА ЛЬДА НА ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Одобрены Главтранспроектом

Москва 1984

gost.e-ecolog.ru

УДК 539.376

© Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства, 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящих Методических рекомендациях изложен расчет надвига льда в замкнутых водоемах на откосные берегозащитные сооружения и земляное полотно железных дорог от температурного расширения ледяного поля, ветра и течения воды в условиях сплошного ледяного покрова. Результаты расчета рекомендуется использовать при проектировании вновь строящихся и реконструируемых железных дорог, а также берегозащитных сооружений откосного профиля, включая волногасящие бермы из несортированной горной массы. По размерам надвига льда подлежат определению высотная отметка бровки земляного полотна и его поперечный профиль, а также ширина и профиль откосного берегозащитного сооружения.

В основу расчета положены требования СНиП II-38-76, СНиП II.06.04-82, СН 288-64, СН 528-80, теоретические разработки В.В.Проскурякова и В.П.Берденникова (ГГИ, 1968 г.), К.Н.Коржавина и В.М.Самочкина (НИИЖТ, 1971 г.), а также данные натурных исследований М.Ш.Фурмана и Н.Н.Янтер (Иркутская обсерватория им. проф. А.В.Вознесенского Госкомгидромета) и др.

Методические рекомендации временные. Они предназначены для проектных институтов Минтрансстроя СССР.

Методические рекомендации составлены в Черноморском отделении морских берегозащитных сооружений им. А.М.Жданова ЦНИИСа канд.техн.наук Е.К.Гречищевым, инженерами Г.Г.Зубаренковой и Л.И.Супруновым.

Предложения и замечания следует направлять по адресу: 354002, г.Сочи, ул.Я.Фабрициуса,1, Черноморское отделение ЦНИИСа.

Зав.Черноморским
отделением

В.В.Ковалев

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические рекомендации допускается применять при определении размера надвига льда в замкнутых водоемах на откосные берегозащитные сооружения и земляное полотно железных дорог, когда эти надвиги возникают при сплошном ледяном покрове под действием температурного расширения льда, течения воды и ветра. Результаты определения надвига льда используются при проектировании вновь строящихся сооружений: земляного полотна железных и автомобильных дорог, а также берегозащитных сооружений откосного профиля, включая волногасящие бермы из несортированной горной массы.

Примечание. Под замкнутыми водоемами понимаются *озера, водохранилища и глубокие заливы морей*, перекрытые дамбами, по которым в зимнее время образуется по всей акватории сплошной ледяной покров.

1.2. При расчете надвига льда на сооружения следует определять превышение бровки земляного полотна над расчетным уровнем водоема и поперечное сечение земляного полотна или берегозащитного сооружения с учетом технико-экономической целесообразности сдвижки оси земляного полотна от берега, создания искусственной отмели или применения массивных берегозащитных конструкций (см. СН 288-64, п. 11.4).

1.3. Согласно СНиП П-39-76, пп. 1.2 и 3.8 (железные дороги колеи 1520 мм), защита от надвига льда железнодорожного полотна дорог всех категорий, кроме 1У-У, должна обеспечиваться, как для сооружений 1 класса капитальности.

Примечание. Для железных дорог 1У-У категорий, автомобильных магистралей и гидротехнических сооружений класс их капитальности устанавливается по результатам специальных исследований.

1.4. Настоящие Методические рекомендации допускается использовать для расчета надвига льда на сооружения

при следующих условиях:

в зимнее время вся акватория водоема покрывается льдом;

в период зимы сохраняется или понижается (срабатывается) уровень водоема;

полоса неподвижного льда-припая охватывает весь периметр водоема;

время надвига льда на берег или сооружение соответствует зимнему или весеннему, перед вскрытием водоема, периодам;

наибольшая толщина льда в водоеме не превышает 1,5 м.

1.5. Методическими рекомендациями не разрешается пользоваться:

при возможности удлинения ледяного поля (при его температурном расширении) в сторону открытой воды, расположенной вдоль берега за границей припая;

если берегозащитные сооружения выдвинуты в зону плавающего льда, т.е. за границу припая.

1.6. Толщина льда и его физико-механические свойства, входящие в расчет навала льда на сооружение, должны устанавливаться по данным натурных наблюдений и исследований за период не менее 5 лет, а также по материалам изучения других аналогичных объектов. По результатам изучения ледового режима водоема должно быть проведено районирование площади ледяного покрова по его прочностным характеристикам (разряженный, сплоченный, монолитный ледяной покров) и размещению становых трещин.

Исходя из размещения в плане монолитного ледяного покрова для дальнейших расчетов устанавливается положение прямоугольной системы координат (рис. 1). За ось X принимается продольная ось монолитного ледяного покрова $2L_н$, м, за ось Y - его ширина B, м. Начало координат расположено в середине монолитного покрова.

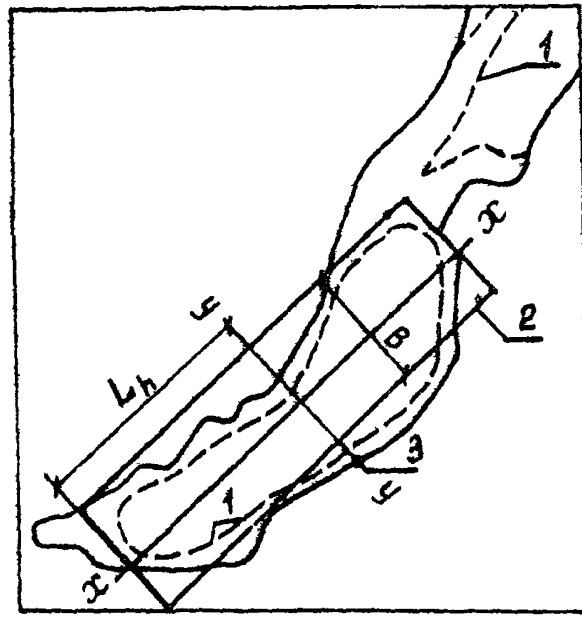


Рис. 1. Пример расположения системы координат в водоеме:
1 – граница монолитного ледяного покрова; 2 – контур ледяного покрова, принятый для расчета; 3 – место возможного надвига льда на сооружение

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

2.1. Расчетными уровнями воды в водоеме являются уровни в период открытой воды во время формирования на пляже наплесковых форм льда, ледостава и вскрытия (рис. 2).

В зависимости от класса капитальности сооружения, защищаемого от надвига льда, обеспеченность расчетных уровней воды в водоеме принимается по следующей таблице.

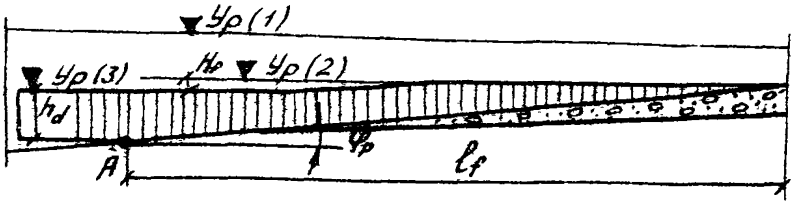


Рис. 2. Расчетные уровни воды в водоеме:
$У_р$ (1) - уровень открытой воды; $У_р(2)$ - периода ледостава; $У_р(3)$ - вскрытия от льда

Класс капитальности сооружений	1-П	Ш	IУ
Обеспеченность уровней воды в водоеме, %	1	20	50

Примечание. Расчетные уровни для 1-Ш классов капитальности сооружений необходимо принимать по наивысшим годовым уровням, для 1У класса - по среднегодовым.

2.2. Ширина полосы наплесковых форм льда на поверхности откоса сооружения в осенне-зимний период до ледостава принимается равной ширине наката расчетных волн и определяется в соответствии с требованиями СНиП II.06.04-82, п. 1.14, формула (25).

Примечание. Допускается ширину наплесковых форм льда на поверхности откоса сооружения определять по ширине наката волн, полученной по данным гидротехнического моделирования.

2.3. Величина понижения поверхности льда в водоеме в результате уменьшения притока или сработки воды в период от ледостава до вскрытия (см.рис.2) находится как разность отметок уровней H_f, м, в соответствии с таблицей.

2.4. Ширина припая (неподвижной полосы льда вдоль берега) измеряется от уреза воды до линии сопряжения подводной поверхности льда с дном или с подводной частью откосного сооружения. От уровня воды в период ледостава линия сопряжения льда с дном находится на глубине $H_f + h_d$, м, где h_d – расчетная толщина льда обеспеченностью 1 %, м.

Ширина припая l_f, м (см.рис.2) вычисляется по формуле

$$l_f = (H_f + h_d)\,ctg\,\varphi_p, \qquad (1)$$

где φ_p – угол наклона поверхности дна к горизонту, рад.

2.5. Длина и высота надвига льда на сооружение отсчитываются от линии сопряжения нижней поверхности льда с дном или подводным откосом сооружения (точка А на рис. 2–4).

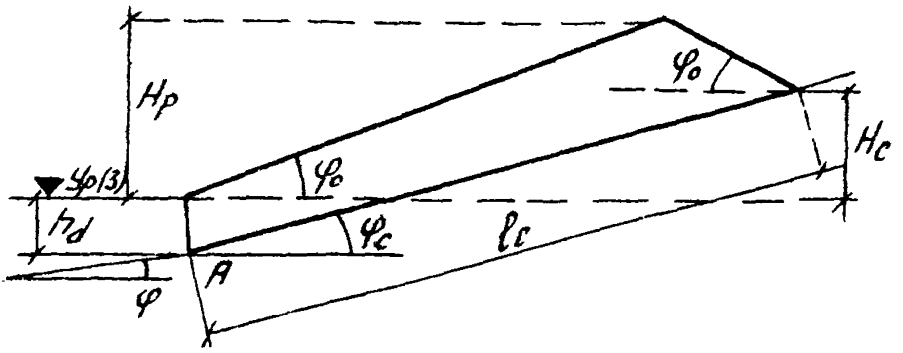


Рис. 3. Расчетная схема надвига льда на откос сооружения

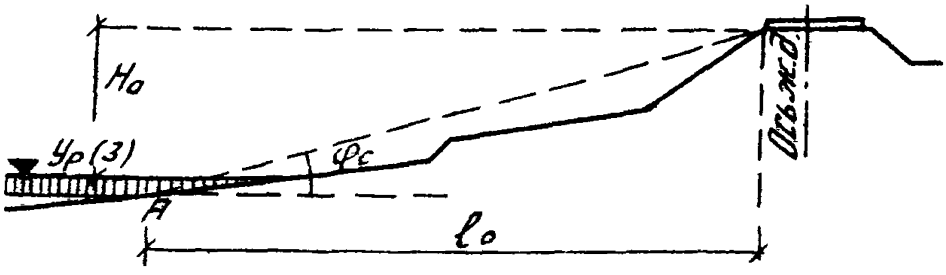


Рис. 4. Схема размещения земляного полотна в зоне возможного надвига льда

2.6. Длина однослойного надвига льда на откос сооружения ℓ_c , м (см.рис.3) определяется по формуле

$$\ell_c = \frac{q(\cos\varphi_c - f_d \sin\varphi_c)}{\rho g h_d(\sin\varphi_c + f_d\cos\varphi_c) + c}, \qquad (2)$$

где q – линейная нагрузка на сооружение от действия ледяного покрова, кН/м;

φ_c – угол откоса, по которому происходит однослойный надвиг льда на сооружение, рад;

f_d – коэффициент трения льда по поверхности откоса;

ρ – плотность льда, кг/м^3;

g – ускорение, м/с^2.

c – сила - сцепление льда, кН/м^2.

2.7. Высота однослойного надвига льда на откос сооружения H_c, м(см.рис.3) находится по формуле

$$H_c = \ell_c \sin\varphi_c - h_d \qquad (3)$$

и отсчитывается от уровня воды, отвечающего периоду вскрытия водоема от льда (см.рис.3).

2.8. Высота нагромождения льда в навале H_p,м (см. рис. 3) при его надвиге на откос сооружения определяется по формуле

$$H_P = \frac{q \sin \varphi_0 (\cos \varphi_0 - f_0 \sin \varphi_0)}{\rho g h_d (\sin \varphi_0 + f_0 \cos \varphi_0) + c} - h_d \quad , \qquad (4)$$

где φ_0 – угол естественного откоса льда в навале, рад;

f_0 – коэффициент трения льда по льду.

Высота льда в навале отсчитывается от уровня воды, соответствующего периоду вскрытия водоема от льда (см.рис.3). Пустотность льда в навале может приниматься равной 50% первоначального объема.

2.9. Протяженность навала льда на откос сооружения вдоль линии берега устанавливается по результатам натурных исследований морфологии подводной зоны на рассматриваемом участке. При этом случай навала льда, вычисляемый по формулам (2) – (4), относится к наиболее опасным зонам: вершине подводного каньона, близко подходящей к урезу воды; наиболее приглубому месту дна; участку берега, расположенному по нормали к продольной оси монолитного ледяного поля (см.рис.1, **точка** 3) и т.д.

2.10. Углом откоса φ_c , рад, по которому происходит однослойный надвиг льда на сооружение, следует считать угол между горизонтом и линией, соединяющей точку А с бровкой земляного полотна (см.рис.4). При наличии перед основной площадкой земляного полотна специально устроенных ледорезов угол φ_c определяется исходя из высотного положения их гребня.

2.11. Коэффициент трения льда f_d при надвиге льда на откос сооружения принимается равным коэффициенту статического трения:

Надвиг льда	Коэффициент трения f_d
Лед по льду	0,10
По бетону	0,10
По грунту	0,15
По свежему снегу толщиной 0,5 см	0,17

Надвиг льда	Коэффициент трения f_d
По свежему снегу толщиной 2 см	0,27
То же толщиной 15 см	0,82

2.12. Физико-механические свойства льда должны определяться на основе данных натурных исследований, а *при их отсутствии допускается принимать* ρ =940 кг/м^3; c = 2 кН/м^2; φ_0 = 0,35÷0,52 рад.

2.13. Линейная нагрузка на сооружение от ледяного покрова q, кН/м, действующая в его горизонтальной плоскости, вследствие термического расширения сплошного (монолитного) ледяного покрова, течения воды и ветра рассчитывается по формуле

$$q = \gamma_f (p_t + p_a + p_v), \qquad (5)$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузкам; принимается при классе капитальности сооружений I – 1,20; II–1,15; III – 1,05; IУ – 1,0.

p_t – нагрузка от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении, кН/м;

p_a – нагрузка, вызываемая ветром, т.е. трением воздуха о наружную поверхность ледяного поля, кН/м;

p_v – нагрузка, вызываемая течением, т.е. трением водного потока о нижнюю поверхность ледяного поля, кН/м.

2.14. *При изучении ледового режима водоема должны* быть выявлены и проанализированы все ранее происшедшие случаи надвига льда на берег и сооружения. По размерам этих надвигов необходимо установить величину линейной нагрузки q. Если фактическая величина линейной нагрузки больше, чем вычисленная по формуле (5), то она должна быть принята в качестве расчетной в пределах данного водоема.

3. НАГРУЗКА ОТ СПЛОШНОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПРИ ЕГО ТЕМПЕРАТУРНОМ РАСШИРЕНИИ, ДЕЙСТВИИ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ

3.1. Нагрузка от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении P_t, кН/м, определяется по формуле

$$P_t = h_d\, p(x), \qquad (6)$$

где $p(x)$ – давление в толще льда, кН/м^2, на расстоянии x, м, от начала координат (см.п.1.6) при температурном расширении;

$$p(x) = P_L + \frac{12\,\alpha_o\,\eta}{B^2}\, v_{t,h}\,(L_h^2 - x^2)\,. \qquad (7)$$

Здесь P_L – предел упругости льда, где $x = L_h$, который при отсутствии опытных данных допускается принимать равным 50 кН/м^2;

α_o – коэффициент температурного линейного расширения льда; для практических целей его можно принимать при температуре от 0 до минус 20°С в среднем равным $\alpha_o = 0{,}000055$ (или $5{,}5 \cdot 10^{-5}$), 1/°С;

η – коэффициент вязкости льда, кПа·ч; принимается в соответствии со СНиП II.06.04-82, п.5.7; исходные данные: t_i – температура льда, °С; t_g – начальная температура воздуха, °С, от которой начинается ее повышение; $h_{s,min}$ – наименьшая толщина снежного покрова за расчетный период, м, устанавливаемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии принимаемая $h_{s,min} = 0$; $v_{w,m}$ – средняя скорость ветра, м/с;

B – ширина сплошного (монолитного) ледяного поля, м;

$v_{t,h}$ – скорость повышения температуры льда, °С/ч;

L_h – половина длины сплошного (монолитного) ледяного поля, м, в направлении его температурного расширения.

3.2. Скорость смещения U_{max}, м/ч, любой точки ледяного поля (по направлению оси X) под действием температурного расширения определяется по формуле

$$U_{max} = 3 \alpha_o v_{t,h} x \quad . \qquad (8)$$

Максимальная скорость смещения имеет место при

$$x = L_h \quad .$$

3.3. Нагрузка, вызываемая ветром, P_a, кН/м, вычисляется по формуле

$$P_a = \kappa_w v^2_{w,max} \cdot 2 L_h \quad , \qquad (9)$$

где $v_{w,max}$ – максимальная скорость ветра 1%-ной обеспеченности в период надвига льда, м/с, которая устанавливается по синоптическим данным в ядре шторма;

K_w – коэффициент трения воздушного потока о шероховатую наружную поверхность ледяного покрова, кН·с^2/м^2, равный

$$K_w = \frac{3{,}26 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{v_{w,max} L_h}} \quad , \qquad (10)$$

3.4. Нагрузка, вызываемая течением, P_v, кН/м, рассчитывается по формуле

$$P_v = \kappa_v v^2_{max} 2 L_h \quad , \qquad (11)$$

где v_{max} – максимальная скорость течения воды подо льдом 1%-ной обеспеченности в период надвига льда, м/с;

K_v – коэффициент трения водного потока о шероховатую нижнюю поверхность ледяного покрова, кН·с^2/м^4, равный

$$K_v = \frac{8{,}9 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{v_{max} L_h}} . \qquad (12)$$

Примечание. Нагрузка, вызываемая трением водного потока о нижнюю поверхность ледяного покрова, в том случае, когда направление потока совпадает с направлением ветра, в формуле (5) принимается со знаком плюс, при встречном течении – со знаком минус.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ОТКОСНЫХ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ НАДВИГА ЛЬДА

4.1. В соответствии с требованиями СНиП П-39-76 (железные дороги колеи 1520 мм), п. 3.8 бровка земляного полотна железной дороги на линиях 1-Ш категорий должна быть выше высоты нагромождения льда в навале на 0,5 м (см.рис.4).

$$H_o = H_p + 0{,}5 . \qquad (13)$$

4.2. Удаление бровки земляного полотна от линии сопряжения подводной поверхности льда с дном по горизонтальному проложению (см.рис.4) должно быть больше длины однослойного надвига льда на откос

$$\ell_o \geq (H_p + 0{,}5) \operatorname{ctg} \varphi_c . \qquad (14)$$

4.3. Поперечный профиль земляного полотна в зоне возможного надвига льда должен включать берму, ширина которой подлежит определению с учетом п.4.2. Конструкция бермы проектируется из условий защиты земляного полотна от воздействия волн.

В случае размещения всего объема навала льда на берме допускается снижение отметки бровки земляного полотна из условия обеспечения

$$\ell_o > H_c \operatorname{ctg} \varphi_c . \qquad (15)$$

4.4. В зоне возможного надвига льда, приуроченного к приглубому участку берега, осложняющему формирование припая, рекомендуется предусматривать перед бермой (см.п.1.3) подводный банкет. Конструкция банкета определяется из условия защиты земляного полотна от воздействия волн. Ширина банкета устанавливается в соответствии с пп. 2.4-2.6. Угол наклона откоса банкета должен соответствовать углу наклона поверхности подводного пляжа, характерного для данного водоема.

4.5. В целях уширения существующей полосы припая допускается применять гравитационные массивные подводные волноломы со скошенной наружной гранью при условии формирования на них в осенне-зимнее время наплесковых форм льда в качестве дополнительной защиты от надвигов льда. Образующийся лед с береговой стороны таких волноломов при понижении уровня воды в водоеме должен достигать дна.

4.6. При проектировании земляного полотна железной дороги в зоне возможного надвига льда, приуроченного к вершине подводного каньона, подходящего непосредственно к урезу воды, трасса дороги должна быть отнесена в сторону суши на безопасное расстояние (см.п.4.2).

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НАДВИГА ЛЬДА НА ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

ПРИМЕР 1. Определить нагрузки по фактическим случаям надвига льда на откосы земляного полотна.

И с х о д н ы е д а н н ы е: фактические замеры приведены в таблице; для всех случаев толщина льда h_d = 0,8 м; принятые значения ρ = 940 кг/м^3; f_d = 0,15; c = 2 кН/м^2.

Случай	Число, месяц, год	Фактические данные			Нагрузка, кН/м
		φ_c рад.	ℓ_c, м	H_c, м	
1	29.04.1944	0,30	48	13,5	274
2	29.04.1976	0,31	19	6,0	112
3	29.04.1978	0,30	38	11,0	217
4	29.04.1976	0,12	57	6,6	233
5	29.04.1976	0,16	34	5,2	149

Р а с ч е т. Линейная нагрузка на сооружение от действия сплошного ледяного покрова q, кН/м, определяется по формуле (2)

$$q = \frac{\ell_c \left[\rho g \cdot 10^3 \cdot h_d (\sin \varphi_c + f_d \cos \varphi_c) + c\right]}{(\cos \varphi_c - f_d \sin \varphi_c)} .$$

Ниже даны расчеты по каждому случаю:

$$q_1 = \frac{48 \left[0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8 (\sin 0{,}30 + 0{,}15 \cos\ 0{,}30) + 2\right]}{(\cos 0{,}30 - 0{,}15 \sin 0{,}30)} = 274 \text{ кН/м};$$

$$q_2 = \frac{19 \left[0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8 (\sin 0{,}31 + 0{,}15 \cos 0{,}31) + 2\right]}{(\cos 0{,}31 - 0{,}15 \sin 0{,}31)} = 112 \text{ кН/м};$$

$$q_3 = \frac{38\,[0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8\,(\sin 0{,}30 + 0{,}15 \cos 0{,}30) + 2]}{(\cos 0{,}30 - 0{,}15 \sin 0{,}30)} = 217 \text{ кН/м};$$

$$q_4 = \frac{57\,[0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8\,(\sin 0{,}12 + 0{,}15 \cos 0{,}12) + 2]}{(\cos 0{,}12 - 0{,}15 \sin 0{,}12)} = 233 \text{ кН/м};$$

$$q_5 = \frac{34\,[0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8\,(\sin 0{,}16 + 0{,}15 \cos 0{,}16) + 2]}{(\cos 0{,}16 - 0{,}15 \sin 0{,}16)} = 149 \text{ кН/м}.$$

Результаты сведены в таблицу.

ПРИМЕР 2. Определить давление льда при сплошном ледяном покрове от его температурного расширения в створе с координатой $x = 0$, в которой давление имеет максимальную величину ($p_t = p_{t,max}$).

Исходные данные: $2L_h = 160$ км; $B = 40$ км (см. рис. 1), $h_d = h_{max} = 0{,}8$ м; $h_{s,min} = 0$; $t_g = -4{,}6^{\circ}$C; $v_{w,m} = 10$ м/с; $v_{t,a} = 0{,}5\ ^{\circ}$C/ч; $t = 8$ ч; $p_L = 50$ кН/м^2; $\alpha_0 = 5{,}6 \cdot 10^{-5}$ 1/°C.

Расчет. Согласно СНиП II.06.04-82, п.5.7 определяется коэффициент теплоотдачи от воздуха и поверхности снежного покрова α, Вт/м^2; при отсутствии снега он вычисляется по формуле

$$\alpha = 6\sqrt{v_{w,m} + 0{,}3} = 6\sqrt{10{,}3} = 19{,}2 \text{ Вт/м}^2.$$

Приведенная толщина ледяного покрова h_{red}, м, определяется по формуле (136) СНиП II.06.04-82

$$h_{red} = h_{max} + 1{,}43\,h_{s,min} + \frac{2{,}3}{\alpha} = 0{,}8 + \frac{2{,}3}{19{,}2} = 0{,}92 \text{ м}.$$

Относительная толщина ледяного покрова h_{red}, м, согласно формуле (135) СНиП II.06.04-82

$$h_{red} = \frac{h_{max}}{h_{red}} = \frac{0{,}8}{0{,}92} = 0{,}9 \text{ м}.$$

Безразмерная величина

$$F_o = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{h_{reel}^2} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 6}{0{,}9^2} = 0{,}03,$$

где $t = 6$ ч (при четырех срочных наблюдениях).

По значениям $F_o = 0{,}03$, $h_{reel} = 0{,}9$ м находятся по графикам рис. 35 и 36 СНиП II.06.04-82 безразмерные коэффициенты $\Psi = 0{,}55$ и $\varphi = 0{,}21$.

Температура льда t_i, °С, по формуле (134) СНиП II.06.04-82

$$t_i = t_\phi h_{reel} + \frac{v_{t,a} \cdot t}{2} \Psi = -4{,}6 \cdot 0{,}9 + \frac{0{,}5 \cdot 6}{2} 0{,}55 = -3{,}3\,^\circ\text{C},$$

где $t_\phi = -4{,}6$°С (начальная температура воздуха, от которой начинается ее повышение).

Коэффициент вязкости льда η, кПа·ч, рассчитывается по формуле (132) СНиП II.06.04-82 для случая, когда $t_i > -20$°С:

$$\eta = (3{,}3 - 0{,}28\, t_i + 0{,}083\, t_i^2)\, 10^5 = (3{,}3 - 0{,}28\,(-3{,}3) + 0{,}083\,(-3{,}3)^2)10^5 = 5{,}1 \cdot 10^5 \text{ кПа·ч}.$$

Скорость повышения температуры льда $v_{t,h}$ определяется из формулы

$$v_{t,h} = v_{t,a} \cdot \varphi = 0{,}5 \cdot 0{,}21 = 0{,}11 \text{ °С/ч}.$$

Далее расчет выполняется согласно настоящим Методическим рекомендациям:

по формуле (8) при $x = L_h$ максимальная скорость смещения, м/ч, ледяного поля под действием температурного расширения

$$u_{max} = 3 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}11 \cdot 8 \cdot 10^4 = 1{,}5 \text{ м/ч};$$

по формуле (7) при $x = 0$ давление в толще льда при температурном расширении

$$p = 50 + \frac{12 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 5{,}1 \cdot 10^5}{(4 \cdot 10^4)^2} 0{,}11\,(8 \cdot 10^4)^2 = 198 \text{ кН/м}^2,$$

откуда

$$P_t = h_d \cdot p = 0{,}8 \cdot 198 = 158 \text{ кН/м}.$$

ПРИМЕР 3. Определить нагрузку от сплошного ледяного покрова при действии на него ветра.

Исходные данные: ветер северо-восточного направления; расчетная скорость ветра $v_{w,max} = 25$ м/с; половина длины сплошного (монолитного) ледяного поля $L_h = 80$ км.

Расчет. По формуле (10) $\kappa_w = \frac{3{,}26 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{25 \cdot 8 \cdot 10^4}} =$

$= 4 \cdot 10^{-7}$ кН·с^2/м^4, по формуле (9)

$$P_a = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 25^2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 41{,}3 \text{ кН/м}.$$

ПРИМЕР 4. Определить нагрузку от сплошного ледяного покрова при действии на него течения воды.

Исходные данные: скорость течения воды в подледном слое $v_{max} = 0{,}2$ м/с; половина длины сплошного (монолитного) ледяного поля $L_h = 80$ км.

Расчет. По формуле (12) определяем

$\kappa_v = \frac{8{,}9 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{0{,}2 \cdot 8 \cdot 10^4}} = 7 \cdot 10^5$ кН·с^2/м^4, откуда согласно формуле (11) $P_v = 7 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}2^2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^4 = 0{,}5$ кН/м.

ПРИМЕР 5. Определить размеры надвига льда на откос земляного полотна железной дороги от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении и действии на него течения воды и ветра.

Исходные данные: 1. Уровни воды в водоеме: в период формирования наплесковых форм льда в осенне-зимнее время +0,93 м; при ледоставе +0,38 м; в период возникновения надвига льда −0,0 м.

2. Расчетная высота волны $h_{гл} = 5{,}6$ м, длина волны $\lambda_{гл} = 105$ м, высота волны по линии последнего обрушения $h_{1\%} = 3{,}5$ м.

3. Ледовые условия указаны в примере 2. Для расчета принято $h_d = 0{,}8$, $f_d = 0{,}15$, $\rho = 940$ кг/м^3, $f_o = 0{,}10$, $c = 2$ кН/м^2, $\varphi_o = 0{,}43$ рад.

4. Ветровые условия указаны в примере 3.

5. Подледное течение воды дано в примере 4.

6. Земляное полотно размещено вдоль берега водоема. Класс капитальности сооружений 1 ($\gamma_f = 1{,}20$); $\varphi_p = 0{,}12$ рад; $\varphi_c = 0{,}30$ рад. Согласно СНиП II.06.04-82, п.1.14, табл. 6 шероховатость откоса в зоне наката волн $\frac{\Delta}{h_{1\%}} = 0{,}02$, откуда $K_\Delta = 0{,}8$; $K_{нп} = 0{,}8$, $K_c = 1{,}2$; $K_{нг} = 0{,}6$.

Р а с ч е т. 1. Ширина полосы наплесковых форм льда в осенне-зимний период до ледостава (см. п.2.2)

$$\ell_u = (K_\Delta K_{нп} K_c K_{нг} h_{1\%}) \operatorname{ctg} \varphi_p = (0{,}9 \cdot 0 \cdot 8 \cdot 1{,}2 \times$$

$\times 0{,}6 \cdot 3{,}5) \cdot 8{,}35 = 15{,}2$ м.

2. Ширина припая льда (см. п.2.4)

$$\ell_f = (H_f + h_d) \operatorname{ctg} \varphi_p = (0{,}38 + 0{,}8) \cdot 8{,}35 = 9{,}8 \text{ м}.$$

3. Линейная нагрузка на сооружение от действия ледяного покрова (см.п. 2.13) по результатам расчетов, изложенных в примерах 2,3 и 4, равна $q = \gamma_f (P_t + P_a + P_v) =$ $= 1{,}20$ (158 41,3 + 0,5) = 240 кН/м.

Учитывая указания п. 2.14 и результаты расчетов, изложенные в примере 1 (см.таблицу, случай 1) для дальнейших расчетов принимается $q = 274$ кН/м.

4. Длина однослойного надвига льда на откос сооружения (см. п. 2.6) по формуле (2) равна

$$\ell_c = \frac{274\ (\cos 0{,}30 - 0{,}15 \sin 0{,}30)}{0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8\ (\sin 0{,}30 + 0{,}15 \cos 0{,}30) + 2} = 48{,}0 \text{ м}.$$

5. Высота однослойного надвига льда на откос сооружения по формуле (3)

$$H_c = 48 \sin 0{,}30 - 0{,}8 = 13{,}4 \text{ м}.$$

6. Высота нагромождения льда в навале при надвиге на откос сооружения по формуле (4)

$$H_p = \frac{274 \sin 0{,}43\,(\cos 0{,}43 - 0{,}10 \sin 0{,}43)}{0{,}94 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8\,(\sin 0{,}43 + 0{,}10 \cos 0{,}43) + 2} - 0{,}8 =$$

$$= 16{,}5 \text{ м.}$$

7. Исходя из полученных результатов и требований СНиП П-39-76, п.3.8 бровка земляного полотна железной дороги I категории должна находиться, считая от уровня воды в период надвигов льда, на высоте $H_o = 13{,}4 + 0{,}5 = 13{,}8$ м.

Удаление бровки земляного полотна от линии сопряжения подводной поверхности льда с дном должно составлять не менее $\ell_o = 13{,}8 \operatorname{ctg} 0{,}30 = 46{,}2$ м. При этом на длине однослойного надвига льда на откосе земляного полотна может образоваться нагромождение льда на высоту от уровня воды до 16,5 м, однако основная площадка земляного полотна будет находиться за его пределами.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА 6

3. НАГРУЗКА ОТ СПЛОШНОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПРИ ЕГО ТЕМПЕРАТУРНОМ РАСШИРЕНИИ, ДЕЙСТВИИ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ 12

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ОТКОСНЫХ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ НАДВИГА ЛЬДА 14

ПРИЛОЖЕНИЕ. Примеры расчета надвига льда на земляное полотно железной дороги 16

Редактор Н.И.Шкуренко
Корректор О.Д.Сухова
Подп. к печ. 16.05.84г. Л – 18875
Заказ 288. Объем 1,4 п.л. Тираж 300 экз.
Цена 15 коп. Ротапринт ЦНИИСа

gost.e-ecolog.ru