

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО БОРТА ЗЕМСНАРЯДА СО ЛЬДОМ

Кириллов С.Г., Брюханова М.Д.

Научный руководитель канд.техн.наук Корзун О.А.

Сибирский федеральный университет

При взаимодействии вертикального борта земснаряда со льдом основным разрушающим параметром (рис.1), действующим на лёд, является сила тяги, которая будет играть роль ограничивающего фактора при разрушении льда. На лёд действует одноосная нагрузка на сжатие. Поэтому далее производится испытание льда на сжатие на разрывной машине LFM 20 и определение удельного сопротивления достаточного для его разрушения, для определения максимальной толщины льда, которую сможет сломать земснаряд при его ограниченной силе тяги. Данные по испытанию сведены в таблицу 1.

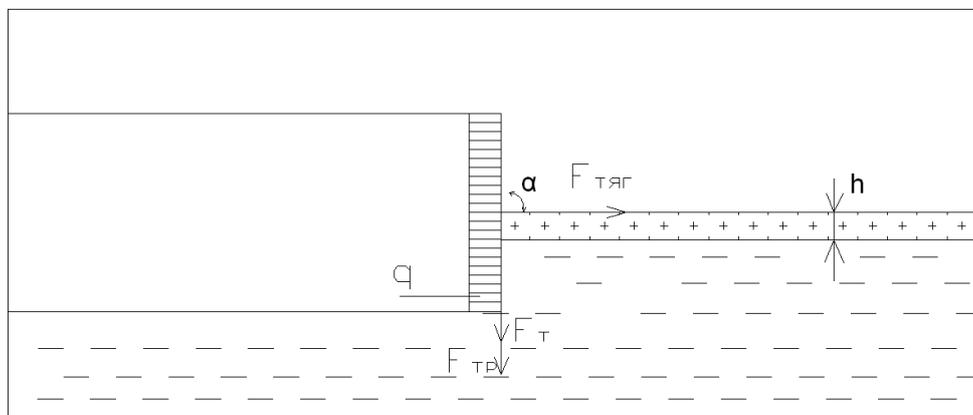


Рисунок 1 – Взаимодействие вертикального борта земснаряда со льдом

Таблица 1 - Испытание льда на сжатие

Номер образца	Размеры образца (ВхНхL), м	Площадь поверхности образца (S_0), м ²	Одноосная сила сжатия, при которой происходит разрушение ($G_{л}$), кН	Удельная одноосная сила сжатия ($q_{сж}$), кН/м ²
1	0,08x0,04x0,08	0,0032	0,33	102,73
2	0,08x0,045x0,08	0,0036	0,37	103,58
3	0,08x0,05x0,08	0,004	0,45	112,04
4	0,08x0,05x0,08	0,004	0,44	109,95

Удельная одноосная сила сжатия определяется из формулы:

$$q_{сж} = G_{л} / S_0, \text{ кН/м}^2 \quad (1)$$

где $G_{л}$ - одноосная сила сжатия, при которой происходит разрушение льда, кН;

S_0 - площадь поверхности образца, м²:

$$S_0 = H \times L, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где H – толщина образца, м; L – длина образца, м.

Определяется средняя удельная одноосная сила сжатия:

$$q_{сж} = (102,73 + 103,58 + 112,04 + 109,95) / 4 = 107,1 \text{ кН/м}^2.$$

Среднее удельное сопротивление составляет $q_{сж} = 107,1 \text{ кН/м}^2$.

Далее определяется для наиболее распространенных типов земснарядов максимальную толщину льда, которую они смогут преодолеть.

Для определения максимальной толщины льда преодолеваемой земснарядом, необходима сила тяги.

Проецируя силу тяги земснарядов на линию графика необходимой нагрузки для разрушения льда до точки пересечения, которая проецируется на ось, где указана толщина льда, получаем максимальную толщину льда, которую сможет разрушить драга при передвижении. Далее на подобных графиках выполняются аналогичные действия.

Исходя из приведенного графика, максимально преодолеваемая толщина льда для земснарядов типа 12А-4М, 12А-5М, 12А-5Д, 180-60, составила 0,05 м (рис.2).

График зависимости изменения нагрузки от толщины льда

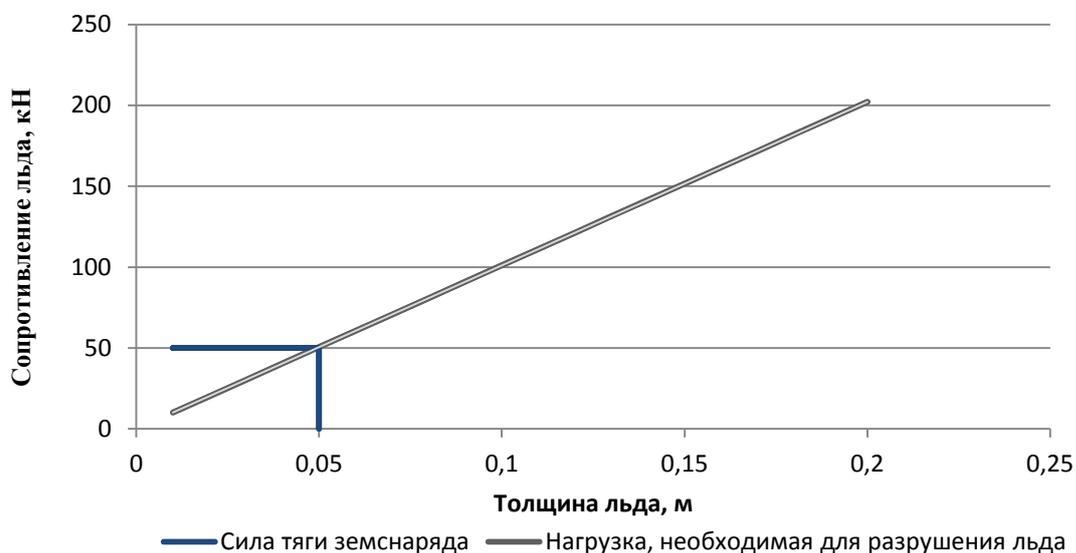


Рисунок 2 – Определение максимальной толщины льда, которую смогут преодолеть земснаряды типа 12А-4М, 12А-5М, 12А-5Д, 180-60

При образовании льда толщиной больше максимальной толщины для указанных типов земснаряда, которую они могут разрушить. Перемещение драги по акватории не сможет выполняться, что приведет к простоям оборудования и снижению годовой производительности предприятия.

Предлагается изменить конструкцию борта земснаряда, и выполнить борт под углом относительно горизонтали, что позволит изменить направление действующей нагрузки на лёд. Вследствие чего лёд будет подвергаться деформации не по одноосному сжатию, а на изгиб.

При исполнении борта земснаряда под углом и при взаимодействии его со льдом, будут выглядеть следующим образом (рис.3).

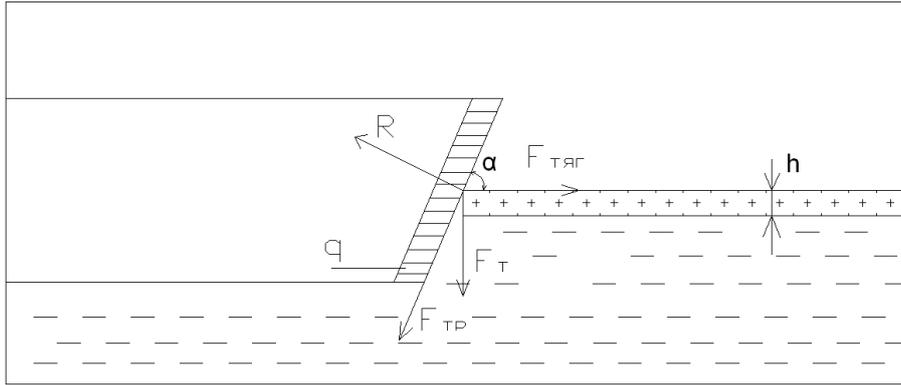


Рисунок 3 – Взаимодействие борта земснаряда со льдом

Сила тяжести F_T составляет, кН:

$$F_m = m \cdot g, \quad (3)$$

где m – масса самой драги, т; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Сила тяги $F_{тяг}$ нам известна из технических параметров земснарядов, которая приведена в таблице 2. Разрушающей силой, действующей на лёд, создаваемой земснарядом, будет являться сила трения.

Сила трения будет находиться по следующей формуле:

$$F_{тр} = f \cdot R, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения скольжения (например: сталь по льду $f = 0,027$); R – сила реакции льда, кН.

Сила реакции льда будет выражаться следующим образом:

$$R = F_{тяг} \cdot \sin \alpha + F_m \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Следовательно, подставив формулу (3) в выражение (2), сила трения будет выражаться:

$$F_{тр} = f \cdot (F_{тяг} \cdot \sin \alpha + F_m \cdot \cos \alpha). \quad (6)$$

Рассчитывается силу трения для наиболее распространенных типов земснарядов и зависимость изменения силы трения от угла борта. Полученные данные показываются графически.

Для определения силы трения, создаваемой земснарядом, необходима масса разных типов земснарядов. На основе рассчитанных и выше приведенных данных была получена следующая модель зависимости изменения силы трения от изменения угла борта земснаряда:

$$y = -a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

где a , b , c – коэффициенты, зависящие от типа земснаряда.

Далее определяется из экспериментальных данных, приведенных в таблице 3, удельное сопротивление льда на изгиб.

Удельное сопротивление льда на изгиб определяется из формулы:

$$q_{из} = G_{из} / S_0, \text{ кН/м}^2 \quad (7)$$

где $G_{из}$ – предел прочности льда на изгиб, кН; S_0 – площадь поверхности образца, m^2 :

$$S_0 = H \times L, m^2, \quad (8)$$

где H – толщина образца, м; L – длина образца, м.

Среднее удельное сопротивления льда на изгиб $q_{сж} = 51,4 \text{ кН/м}^2$.

Таблица 3 – Испытание льда на изгиб

№ Образца	Размеры образца (ВхНхL), м	Площадь поверхности образца (S_0), м ²	Предел прочности льда на изгиб ($G_{из}$), кН	Удельное сопротивление льда на изгиб ($q_{из}$), кН/м ²
1	0,15x0,02x0,19	0,0038	0,18	47,4
2	0,15x0,02x0,19	0,0038	0,22	57,9
3	0,15x0,02x0,19	0,0038	0,17	44,7
4	0,15x0,03x0,19	0,0057	0,28	49,1
5	0,15x0,03x0,19	0,0057	0,33	57,9
6	0,15x0,03x0,19	0,0057	0,25	43,9
7	0,15x0,04x0,19	0,0076	0,37	48,7
8	0,15x0,04x0,19	0,0076	0,42	55,3
9	0,15x0,04x0,19	0,0076	0,44	57,9

Чтобы определить максимальную толщину, которую сможет преодолеть земснаряд при изменении угла борта драги необходимо отложить на оси «Сопротивление льда на изгиб» силу трения земснаряда, до пересечения с линией «Зависимость изменения сопротивления льда на изгиб от толщины льда», проецируя точку пересечения на ось «Толщина льда», получают максимальную толщину льда которую может преодолеть земснаряд и проецируя точку на ось «Угол борта земснаряда», получают угол борта земснаряда, с которым земснаряд может преодолеть данную максимальную толщину. Данные действия отображены на нижнем приведённом графике (рис.4).

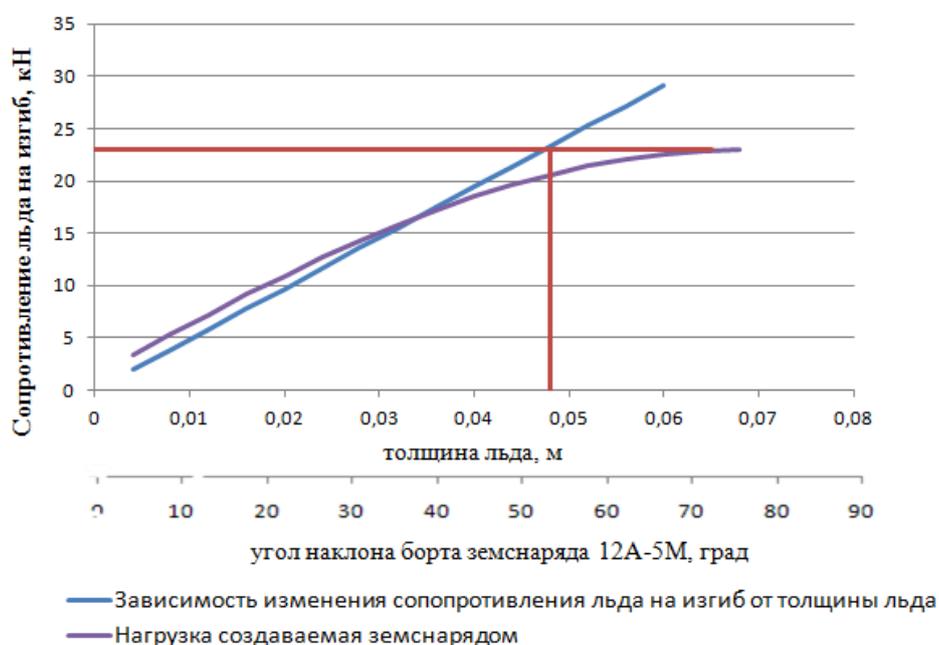


Рисунок 4 – График для определения максимальной толщины льда, которую может преодолеть земснаряд в зависимости от изменения угла борта