

А.Г. Ларин
ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАГРУЗКИ
НА ПРОЛОМНОЕ УСИЛИЕ ДЛЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена экспериментальному изучению влияния формы нагрузки в плане на величину проломного усилия. Описана экспериментальная установка для исследования пролома ледяного покрова. Приведены полученные результаты, представлены сравнительные графики для различных по форме нагрузок. Показано влияние соотношения сторон нагрузки на величину проломного усилия.

Ключевые слова: ледяной покров, ледовый опытовый бассейн, модель естественного льда, проломная нагрузка, теория моделирования.

Для определения влияния на величину проломной нагрузки для ледяного покрова ее формы и размеров были проведены опыты в специализированном ледовом опытовом бассейне НГТУ им. Р.Е. Алексеева кафедры «Кораблестроение и авиационная техника».



Рис.1. Круглый ледовый опытовый бассейн НГТУ им.Р.Е. Алексеева

В опытовый ледовый бассейн наливалась пресная вода. Лед намораживался естественным способом при отрицательных температурах наружного воздуха. После образования ледяного покрова на поверхности воды перед началом эксперимента во льду сверлилось отверстие с целью предварительной оценки толщины намороженного льда.

Пролом осуществлялся следующими съемными штампами:

- круглый штамп $\varnothing 240$,
- квадратный штамп 215×215 ,
- прямоугольный штамп 150×300 .

Все штампы выполнены имеют одинаковую площадь $S=0,045\text{м}^2$.

Опыты проводились для льда различной толщины. В ходе проведения опытов производилась запись усилия и величины прогиба с помощью датчиков и аналогово-цифровой платы на компьютер и обрабатывалась с помощью программного обеспечения.

Порядок проведения опыта был следующий. Производилось предварительное заполнение протокола проведения опыта. Проверялась установка динамометра и датчиков. В случае необходимости датчики и динамометр выставлялись в исходное положение. Запускалась запись сигналов на компьютере. После этого производился запуск пресса. В процессе проведения опытов велась фото- и видеосъемка. После пролома останавливалась запись сигналов на компьютере и данные сохранялись. Далее измерялась толщина льда в нескольких точках: под штампом, в районе ближайшей кольцевой трещины, у края бассейна с обеих сторон фермы. После окончания опыта лед из бассейна убирался. Бассейн оставлялся для замораживания нового ледяного покрова. После этого производилось окончательное заполнение протокола проведения опыта. Перед проведением нового опыта производилась смена штампа.

Схема испытательной установки представлена на рис. 2. Опытный круглый ледовый бассейн имеет диаметр 4,4 м и глубину 0,7 м. На планшюре бассейна смонтирована ферма, внутри которой установлен механический пресс поз. 9 для нагружения ледяного покрова. В качестве пресса используется универсальная испытательная машина УММ-5 с предельной нагрузкой 49 кН. Машина имеет 5 скоростей нагружения: 2, 4, 10, 20, 50 мм/мин. Испытательная машина жестко закреплена на ферме. Пролом осуществляется нижней консолью. Для привода пресса используется двухскоростной реверсивный асинхронный электродвигатель типа А032 мощностью 0,75 кВт при 1420 об/мин и 1,00 кВт при 2850 об/мин. Управление прессом осуществляется с выносного пульта. На шток пресса навинчивается силоизмеритель поз. 7, в который монтируется динамометр сжатия системы Н.Г. Токаря тип ДОС-1 поз. 11. В динамометр на место индикатора часового типа устанавливается датчик линейного перемещения ДП-2СМ поз. 8, для измерения усилия, развиваемого на динамометре Датчик питается от виброизмерительного прибора ВИ6-6ТН. С помощью ВИ6-6ТН сигнал от датчика передается на аналогово-цифровую плату (АЦП) поз. 2. и далее с помощью программного обеспечения записывается на компьютер поз. 1. Для измерения перемещения штока пресса используется потенциометр ПТП-1 поз. 6

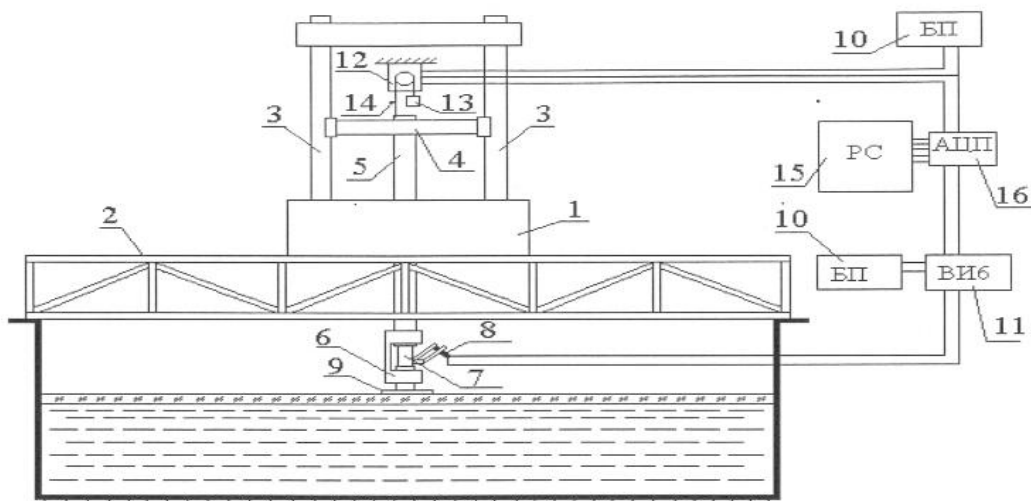


Рис. 2. Экспериментальная установка для проведения испытаний (разрушение сверху):

1 – станина; 2 – опорная ферма; 3 – колонны; 4 – подвижная траверса; 5 – винт; 6 – силоизмеритель; 7 – динамометр типа ДОС-1 системы Н.Г. Токаря; 8 – датчик перемещения ДП-2СМ; 9 – сменный штамп; 10 – блок питания; 11 – виброизмерительная аппаратура; 12 – датчик прогиба потенциометр ПТП—11С; 13– грузик; 14 – нить; 15 – персональный компьютер; 16 – аналого-цифровой преобразователь

Перед проведением опытов все датчики были градуированы. Градуировка производилась в лабораторных условиях и в натуральных условиях для силоизмерительной системы. В результате градуировки в лаборатории и в натуре градуировочные коэффициенты

практически совпали. Результаты, полученные в ходе проведения эксперимента, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний при проломе льда сверху

N опыта	Штамп	Толщина льда, мм	Максимальное усилие, Н	Перемещение штампа, мм		Дата
				при максимальном усилии	при полном проломе	
1	240	19,0	1186	56	108	20.02.2012
2	215x215	30,0	2455	21	122	21.02.2012
3	150x300	20,5	1198	32	99	21.02.2012
4	215x215	25,0	1673	40	108	22.02.2012
5	215x215	14,0	471	27	99	24.02.2012
6	150x300	18,5	955	28	98	02.03.2012
7	240	20,5	1199	26	99	03.03.2012
8	240	24,0	1783	35	105	05.03.2012
9	150x300	21,0	1117	36	106	06.03.2012
10	150x300	39,0	5742	28	98	07.03.2012
11	215x215	42,0	5466	37	126	09.03.2012
12	215x215	46,0	7135	30	120	12.03.2012
13	240	46,0	6679	25	121	16.03.2012
14	150x300	22,0	1553	29	100	17.03.2012
15	240	27,5	2885	48	110	27.03.2012
16	240	36,0	5295	44	64	29.03.2012

В результате градуировки получены следующие коэффициенты:

- для потенциометра ПТП-1 $k_w=2,9\text{см/В}$
- для силоизмерительной системы $k_p=42,3\text{Н/В}$

Значение перемещения можно определить по формуле:

$$w = \Delta U_1 \cdot k_w \tag{1}$$

где ΔU_1 – изменение напряжения, измеренное потенциометром ПТП-1.

Значение перемещения можно определить по формуле:

$$P = \Delta U_2 \cdot k_p \tag{2}$$

где ΔU_2 – изменение напряжения, измеренное датчиком линейных перемещений ДП-2СМ.

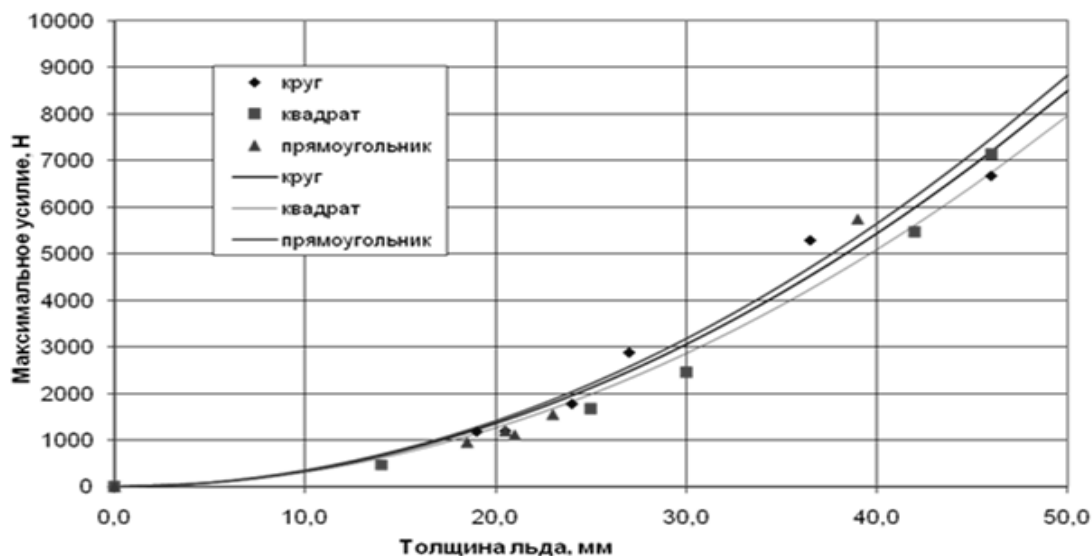


Рис 3. Экспериментальная установка для проведения

Данный график хорошо согласуется с результатами, полученными при расчете методом конечных элементов [2].

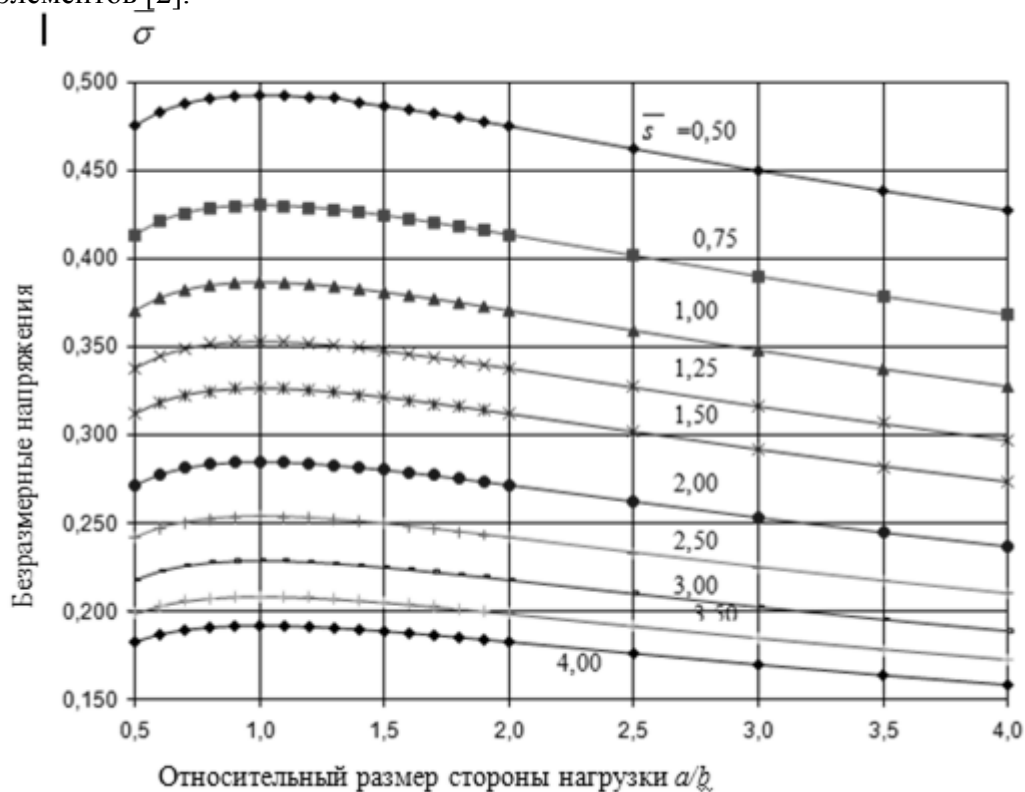


Рис. 4. Безразмерные напряжения в бесконечной пластине при постоянной нагрузке, распределенной по площади прямоугольника

Как видно на рис.4, максимальные напряжения в бесконечной ледяной пластине, лежащей на упругом основании, при одной и той же нагрузке будут при квадратной нагрузке.

Кроме того, были использованы данные, полученные при испытании погружения подводного судна под лед [1]. В результате этих испытаний была получена зависимость

$$P = k' \cdot \sigma_{II} \cdot f\left(\frac{L}{b}, \alpha \cdot \sqrt{S}\right) \cdot \beta \cdot h^2, \quad (3)$$

где $k = k' \cdot \sigma_{II}$ – коэффициент удельной энергии разрушения льда при погружении и всплытии вмерзшего энерго модуля, кПа,

$f\left(\frac{L}{b}, \alpha \cdot \sqrt{S}\right) = \left(1 + 0,02 \cdot \frac{L/b}{\alpha \cdot \sqrt{S}}\right)$ – зависимость, учитывающая влияние отношения длины нагрузки к ширине нагрузки,

$\beta = (1 + 1,3 \cdot \alpha \cdot \sqrt{S})$ – коэффициент, учитывающий влияние площади нагрузки,

$\alpha = \sqrt[4]{\frac{\rho g}{D}}$ – параметр упругого основания, 1/м,

$S = L \cdot b$ – площадь ватерлинии судна, м².

Из зависимости (3) видно, что при увеличении отношения длины нагрузки к ее ширине при неизменной площади нагрузки величина проломного усилия возрастает. Минимальное усилие соответствует нагрузке в форме квадрата. В табл.2 показано относительное увеличение проломного усилия с увеличением отношения сторон нагрузки. За

единицу взято проломное усилие при соотношении сторон равном 1. Площадь нагрузки берется в долях квадрата характерного линейного размера $l = \frac{1}{\alpha} = \sqrt[4]{\frac{D}{\rho g}}$.

Таблица 2

Относительное увеличение величины проломного усилия

Отношение сторон нагрузки L/b	Площадь приложения нагрузки $S = k \cdot l^2$ (l - характерный линейный размер при изгибе льда)							
	$k = 0,2$	$k = 0,5$	$k = 1,0$	$k = 2,0$	$k = 3,0$	$k = 5,0$	$k = 10,0$	$k = 20,0$
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4	1,13	1,08	1,06	1,04	1,03	1,03	1,02	1,01
10	1,39	1,25	1,18	1,13	1,10	1,08	1,06	1,04

Из табл.2 видно, что при увеличении сторон нагрузки с 1 до 10 проломное усилие может возрасти почти на 40%. При увеличении относительной площади приложения нагрузки величина проломного усилия возрастает не так заметно. Это характерно для относительно тонкого льда.

В результате можно сделать следующие выводы:

1. Минимальное усилие для полного пролома бесконечного ледяного покрова будет при нагрузке, распределенной в форме квадрата. Увеличение соотношения сторон приводит к возрастанию усилия, необходимого для разрушения.

2. Для относительно тонкого льда при увеличении соотношения усилие возрастает незначительно. Для толстого льда, у которого относительная площадь приложения нагрузки меньше, чем у тонкого льда, усилие возрастает на значительную величину (до 40%). Поэтому для толстого льда следует стремиться, чтобы нагрузка в плане была близка к квадрату.

Библиографический список

1. Антонов, В.С. Экспериментальные исследования возможности погружения подводного судна, вмерзшего в лед [Текст] / В.С. Антонов, Е.М. Грамузов, В.А. Зуев, А.Г. Ларин, Ю.М. Трапезников // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №4 (101). С. 222-230.

2. Ларин, А.Г. Оценка напряженно-деформированного состояния ледяного покрова при движении над ним ледокольных платформ на воздушной подушке [Текст] / А.Г. Ларин, Ю.А. Москвичева // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2.