

УДК 629.12.011

В.С. Антонов¹, Е.М. Грамузов², В.А. Зуев², А.Г. Ларин², Ю.М. Трапезников¹

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОГРУЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО СУДНА, ВМЕРЗШЕГО В ЛЕД

ЦКБ «Малахит»¹,Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Описана экспериментальная установка для исследования возможности погружения подводного судна, вмёрзшего в лед. Представлены теоретические основы для пересчета результатов модельного эксперимента в естественном льду на натурное судно. Показано влияние отдельных параметров на величину проломного усилия.

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

В настоящее время активно разрабатываются проекты подводных судов для обустройства и эксплуатации месторождений углеводородов на шельфе арктических морей. Это связано с желанием уйти от взаимодействия инженерных сооружений и судов с дрейфующими льдами. Тем не менее, при всплытии не удастся до конца исключить воздействие льда и отрицательных температур наружного воздуха.

Настоящая статья посвящена изучению условий погружения подводного судна вмёрзшего при отрицательных температурах в ледяной покров, определению минимальной толщины льда, при которой погружение становится невозможным. Заметим, что теоретическое решение этой задачи пока не получено из-за сложности физических процессов полного пролома ледяного покрова.

В качестве схематизированные модели подводных судов были выполнены из стальных труб диаметром $\varnothing 168$ мм, толщиной $t = 4$ мм и разных длин $l_1 = 500$ мм; $l_2 = 750$ мм; $l_3 = 1000$ мм; $l_4 = 1500$ мм с возможностью уточнения масштаба моделей в ходе проектирования натуре. С торцов трубы закрывались водонепроницаемыми заглушками, а внутри заполнялись вспенивающимся пенопластом. Сверху на трубах устанавливались площадки для крепления моделей к динамометру и ручки для переноса модели. Схемы моделей приведены на рис. 1 и рис. 2. Модели закреплялись к штоку пресса и вмораживались в лед при разной осадке, что соответствовало форме борта, близкой к вертикальной, наклонной и соответственно запасу плавучести для этих случаев 20%, 35%, 50%.

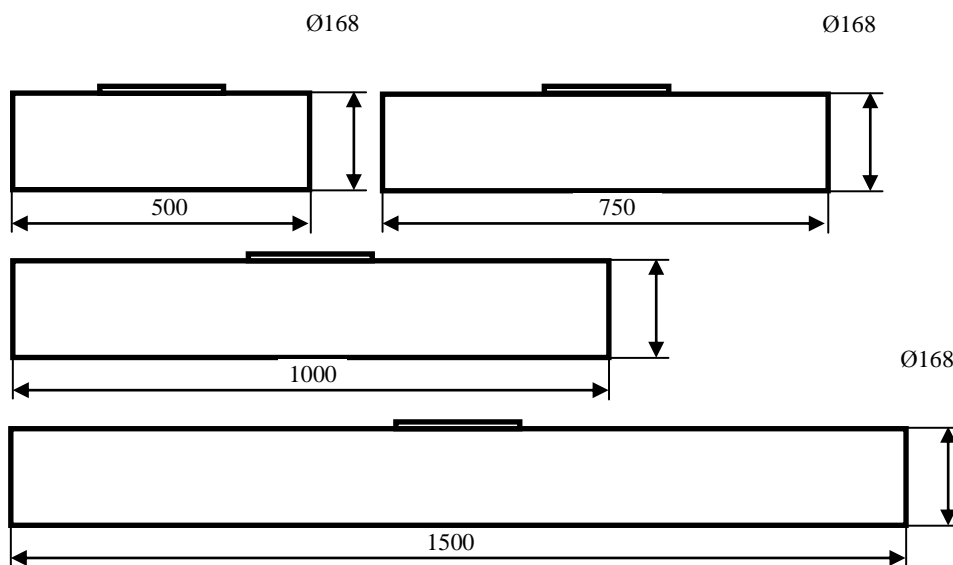


Рис. 1. Схемы моделей энерго модуля

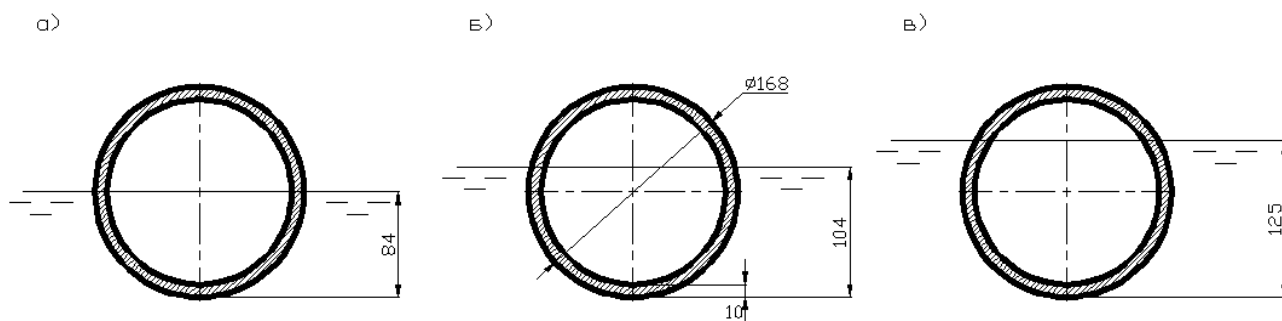


Рис. 2. Схема вмораживания моделей в лед

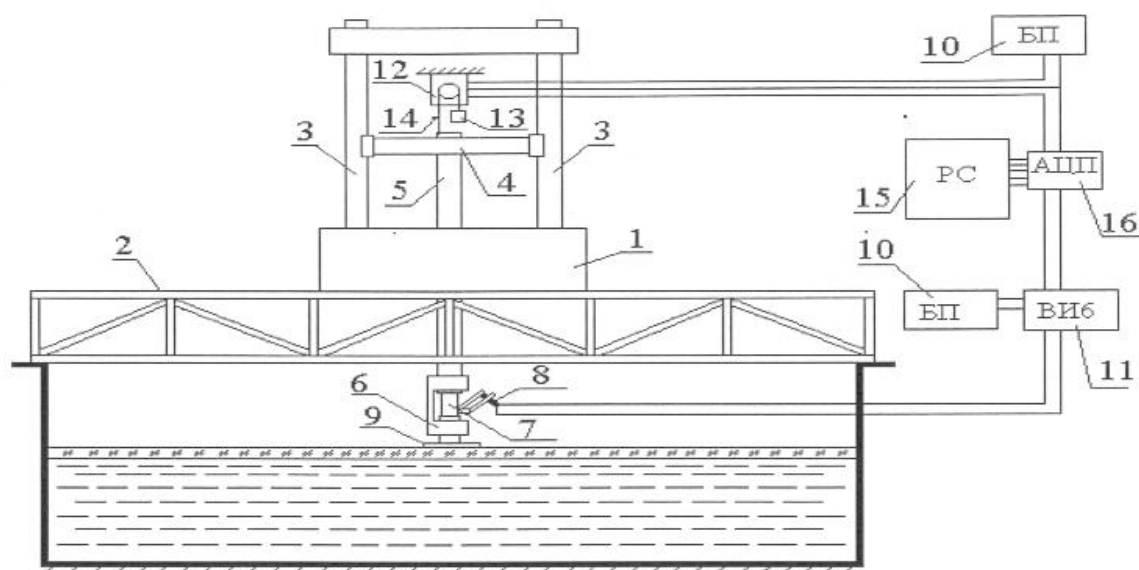


Рис. 3. Экспериментальная установка для проведения испытаний (разрушение сверху):

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

Положительная плавучесть моделей роли не играла, поскольку погружение и всплытие осуществлялись установленным на стенде прессом через динамометр системы Токаря. Шток пресса мог перемещаться с переменной скоростью, но в опытах использовалась минимальная скорость перемещения, равная 10 мм/мин.

Модельные испытания проводились в специальном ледовом опытовом стенде, расположенном на открытом воздухе. Схема ледового стенда представлена на рис 3.

Стенд ледовых испытаний представляет собой стальной бак диаметром 4,5 м и высотой 1,0 м. На баке вдоль оси главного диаметра расположена приваренная мощная балка ферменной конструкции, на которой установлен пресс (универсальная испытательная машина УММ-5 с предельной нагрузкой 50 кН).

Машина имеет пять скоростей нагружения 2; 4; 10; 20; 50 мм/мин. Машина жестко закреплена на ферме. Для привода пресса используется двухскоростной реверсивный асинхронный электродвигатель А032 мощностью 0,75 кВт при 1420 об/мин и 1,00 кВт при 2850 об/мин. Управление прессом осуществляется непосредственно с пульта на машине или выносного пульта.

При испытаниях измерялись:

- температура воздуха,

- осадка модели,
- толщина льда после испытания в 5-7 различных точках поля льда,
- вертикальная сила в зависимости от вертикального перемещения модели. Велась непрерывная запись величины силы от вертикального перемещения (диаграмма разрушения ледяного покрова),
- изгибная прочность ледяных балок «клавиш», выпиливаемых в ледяном поле и остающихся на плаву;
- При испытаниях фиксировалось время испытаний, состояние погоды, проводились фото- и видеосъемка.

После пролома ледяного покрова и определения средней толщины обломков проводилась очистка ледового бассейна ото льда: вода доливалась до необходимого уровня и снова происходило намораживание ледяного покрова.

Для регистрации сигналов датчиков перемещения, силы и прогибов разработан программно-аппаратный комплекс. Комплекс включает в себя модуль калибровки датчиков силы и прогиба, модуль автоматической записи показаний датчиков, позволяющий регистрировать показания без участия экспериментатора, и модуль обработки результатов опыта, который производит пересчет безразмерных показаний алфавитно-цифрового преобразователя (АЦП) к размерным величинам, вычисление максимума нагрузки, интегральных характеристик диаграмм разрушения (работы на разрушение льда), вычерчивает диаграмму разрушения и экспортирует результаты обработки в текстовые файлы. Пример диаграммы разрушения показан на рис. 4.

Испытания проводились в пресном льду естественного состава при отрицательных температурах воздуха. Ледовый бассейн заполнялся пресной водой, под пресс устанавливалась модель энергомодуля, закреплялась к штоку прессы и оставалась в воде (для заданной осадки) при намораживании льда требуемой толщины.

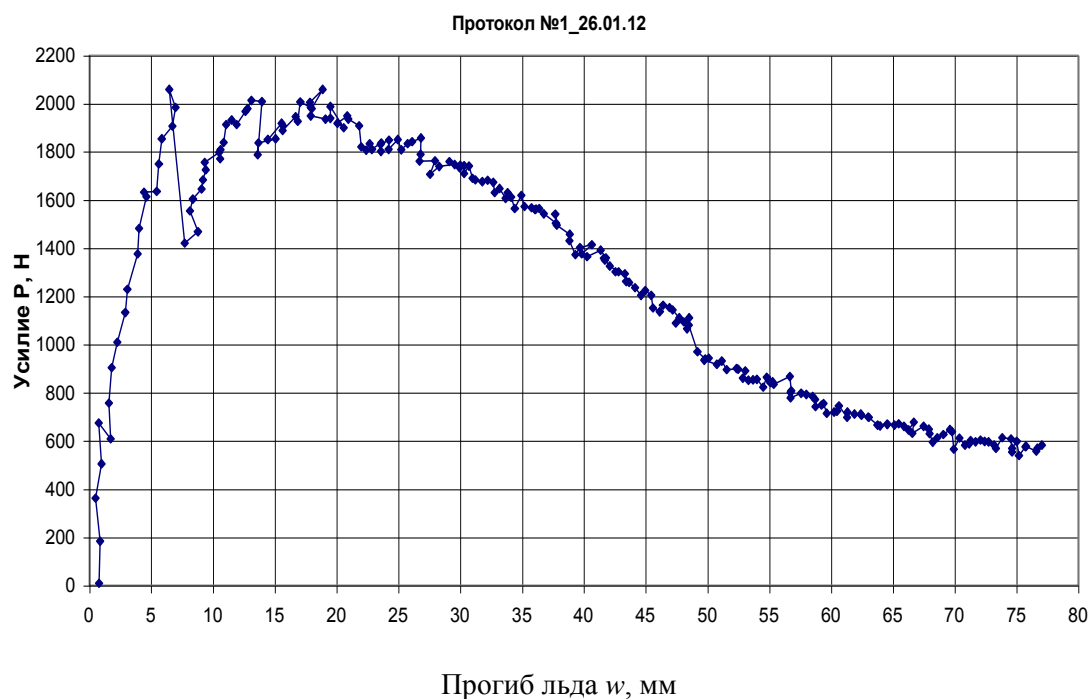


Рис. 4. Пролом льда 26.01.12 г.:

длина модели $L=750$ мм; осадка $T=84$ мм; толщина льда $h = 28$ мм

После образования ледяного покрова перед началом эксперимента во льду сверлилось отверстие для предварительной оценки толщины намороженного льда. Окончательно

толщина обломков льда определялась холодным штангенциркулем в 5-7 местах разных обломков после каждого проведенного опыта.

После окончания опыта лед из бассейна удалялся, бассейн доливался водой, при необходимости модель вновь устанавливалась на заданную осадку, закреплялась к штоку, и процесс повторялся после замораживания нового льда.

Испытания проводились для толщин модели льда ~10 мм, ~20 мм, ~30 мм, ~40 мм.

Одним из очевидных путей экспериментальной оценки напряженно деформированного состояния (НДС) ледяного покрова является определение карты прогибов $w(x, y)$, по которой можно полностью определить вертикальную нагрузку $P = \rho_B g \iint_S w dx dy$, а

далее по известным из теории изгиба пластин зависимостям углы поворота, изгибающие и крутящие моменты, перерезывающие силы и соответствующие компоненты напряжений. Причем определению поддается не только ненарушенная (сплошная) ледяная пластина, но и пластина магистральной с трещиной, для чего необходимо определить коэффициент податливости повороту в трещине как отношение угла раскрытия трещины к моменту в вертикальной плоскости нормальной трещине:

$$a = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial n}\right)_- - \left(\frac{\partial w}{\partial n}\right)_+}{M_n} \quad (1)$$

Однако экспериментальное определение функции $w(x, y)$ встречает значительные технические трудности, связанные с необходимостью измерения прогибов в огромном числе точек на поверхности льда, сложностью устройств баз отсчета и т.д. Непосредственное изменение полей углов поворота, моментов, перерезывающих сил и напряжений, сложнее еще на порядок.

В связи с этим, в число измеряемых были включены наиболее важные величины, характеризующие одновременно и состояние взаимодействующей со льдом конструкции. К ним относятся вертикальное перемещение штампа, деформирующего ледяной покров, и контактное усилие их взаимодействия.

Непрерывная запись во времени этих величин позволяет получить диаграмму деформирования ледяного покрова $P=f(w)$, т.е. зависимость между прогибом в месте приложения нагрузки и вертикальным усилием. Причем наиболее полную информацию дает диаграмма, полученная при кинематическом нагружении. В этом случае на всем протяжении деформирования (вплоть до полного пролома) сила, приложенная к ледяному полю, равна реакции пластины на инициированный прогиб. По такой диаграмме можно определить и рассчитать предельные прогиб и нагрузку, энергию разрушения, интегральные упругие характеристики, энергию образования трещин и т.д.

Если производится силовое нагружение (например, наливом воды в баки, стоящие на ледяном покрове, или отсыпкой грунта), как это делалось в большинстве опытов, можно зарегистрировать лишь восходящую ветвь диаграммы, а информация о ее нисходящей ветви теряется. Это показано на рис. 4.

Для решения поставленных вопросов была разработана оригинальная высокопроизводительная методика проведения опытов. Экспериментальная установка описана выше.

Анализ диаграмм показал, что все они достаточно однотипны и имеют общие участки, состоящие из восходящей и нисходящей (закритической) ветвей. В количественном отношении эти диаграммы можно характеризовать максимальным усилием P_p и прогибом при этом усилии w_p , а также прогибом, при котором исчерпана несущая способность ледяного покрова w_R . Кроме того, к числу параметров, характеризующих разрушение, отнесем работу, затраченную на деформацию льда A_p и полную работу разрушения A_R .

$$A_p = \int_0^{w_p} Pdw, \quad A_R = \int_0^{w_R} Pdw, \quad (2)$$

Для аппроксимации проломного усилия предложена формула.

$$P = k' \cdot \sigma_{\text{И}} \cdot f(L/b, \alpha \cdot \sqrt{S}) \cdot \beta \cdot h^2, \quad (3)$$

где $k = k' \cdot \sigma_{\text{И}}$ – коэффициент удельной энергии разрушения льда при погружении вмерзшего энергомодуля, кПа; $k = k' \cdot \sigma_{\text{И}}$ – коэффициент удельной энергии разрушения льда при всплытии энергомодуля, кПа; $f(L/b, \alpha \cdot \sqrt{S}) = (1 + 0,02 \cdot \frac{L/b}{\alpha \cdot \sqrt{S}})$ – коэффициент, учитывающий влияние отношения длины нагрузки к ширине нагрузки; $\beta = (1 + 1,3 \cdot \alpha \cdot \sqrt{S})$ – коэффициент, учитывающий влияние площади нагрузки; $\sigma_{\text{И}}$ – средняя прочность льда на изгиб в условиях опыта, МПа.

Структурную формулу для прогиба бесконечной пластины w_p , учитывая близкую к линейной зависимость $P_p(w)$ для восходящей ветви диаграммы, можно получить, используя решение для упругой области:

$$w_p = \frac{P}{8D\alpha^2} = k_w \frac{P}{D\alpha^2}. \quad (4)$$

Очевидно коэффициент $k_w > 1/8$ вследствие растрескивания ледяной пластины в процессе нагружения.

По данным опытов, при доверительной вероятности 0,95 получена оценка $k_w = 0,28 \pm 0,04$.

Для ориентировочных расчетов, когда известна лишь толщина льда, можно использовать упрощенную зависимость:

$$w_p = k_w \sqrt{h}, \quad (5)$$

где $k_w = (0,42 \pm 0,05)^2$.

Классическая теория моделирования, разработанная Ю.А. Шиманским и Л.М. Ногидом, предъявляет к модели ледяного покрова следующие требования:

$$\frac{h_{\text{Н}}}{h_{\text{М}}} = \frac{\sigma_{\text{Н}}}{\sigma_{\text{М}}} = \frac{E_{\text{Н}}}{E_{\text{М}}} = \lambda; \quad \rho_{\text{Н}} = \rho_{\text{М}}; \quad \mu_{\text{Н}} = \mu_{\text{М}}, \quad (6)$$

где λ – модуль геометрического подобия объекта взаимодействующего со льдом; h – толщина ледяного покрова; σ – предел прочности льда на изгиб; E – изгибный модуль упругости льда; ρ – плотность льда; μ – коэффициент Пуассона льда.

Индексами «н» и «м» обозначены натура и модель соответственно.

Кроме того, материал модели льда должен иметь сходственную с натурой реологическую модель деформирования.

Нетрудно заметить, что требования к материалу модели ледяного покрова многогранны, а прочность и упругость должны управляться в зависимости от масштаба модели. Модель ледяного покрова, полностью удовлетворяющая условия моделирования, пока не найдена. Актуальным остается вопрос частичного подобия и связанного с ним метода пересчета результатов на натуре.

Рассмотрим методы пересчета ледового сопротивления, полученного в результате испытаний в модели ледяного покрова, частично удовлетворяющего условиям моделирования.

Необходимым условием моделирования разрушения является геометрическое подобие картин разрушения льда в плане, при выполнении которого число и расположение точек контакта льда с корпусом при движении модели будет соответствовать натуре.

Подобие картин разрушения определяется подобием НДС ледяных пластин, для определения которого воспользуемся дифференциальным уравнением изгиба пластин, на упругом основании, приведенном к безразмерному виду:

$$\frac{D}{\rho g L^4} \nabla^4 \bar{w} + \bar{w} = 0, \quad (7)$$

где $\bar{w} = w/L$ – безразмерный прогиб; L – характерный линейный размер в плане; D – цилиндрическая жесткость ледяной пластины.

НДС ледяного покрова для природы и модели будет подобным, если

$$\frac{D}{\rho g L^4} = idem. \quad (8)$$

Так как $\rho_f = \rho_m$ и $g = const$, выражение (12) можно преобразовать к виду

$$\frac{D_H}{D_M} = \frac{L_H^4}{L_M^4} = \lambda^4. \quad (9)$$

Таким образом, при соблюдении условия (9) будет обеспечено подобие картин разрушения льда в плане.

Следует отметить, что для определения масштаба λ_{R_p} нет необходимости знать значения A_{z_i} для каждого вида конфигурации пластин в точке контакта. Требуется лишь знать отношение (масштаб) энергий ломки ледяного покрова природы и модели λ_{A_z} , который, очевидно, при подобной геометрии ломки зависит только от свойств льда. Поэтому при экспериментальном определении λ_{A_z} можно использовать испытания ледяных пластин различной конфигурации, например бесконечных или полубесконечных.

Нетрудно заметить, что условия (8) и (9) предъявляют к модели ледяного покрова более легкие требования, чем классическая теория моделирования а, следовательно, упрощается выбор материала для модели льда.

Отметим, что формула (8) не противоречит строгой теории моделирования. Так, при $\lambda_{A_z} = \lambda^3$ $\lambda_{R_p} = \lambda^3$.

Однако использование формул (8) и (9) позволяет расширить поиски модели льда.

Современные ледовые бассейны представляют собой сложные и дорогостоящие сооружения. Размеры моделей испытываемых в них ограничены. Поэтому представляет интерес поиск методов моделирования ледового сопротивления в открытых бассейнах с естественным охлаждением и природных водоемах.

Сразу следует заметить, что естественный лед обладает повышенной прочностью, чем требует строгая теория моделирования, поэтому широкое распространение получило мнение о невозможности его использования в качестве модели ледяного покрова.

Идея использования натурального льда состоит в попытке компенсации повышенной прочности меньшей толщиной.

Для определения масштаба пересчета толщины льда воспользуемся условием (4), тогда

$$\frac{E_H h_H^3 (1 - \mu_M^2)}{E_M h_M^3 (1 - \mu_H^2)} = \lambda^4. \quad (10)$$

Учитывая, что в естественном льду равенство $\mu_f = \mu_m$ выполняется автоматически, получим выражение для масштаба пересчета толщины льда:

$$\lambda_h = \frac{h_H}{h_M} = \lambda^{4/3} \lambda_E^{-1/3}; \quad \lambda_E = \frac{E_H}{E_M}. \quad (11)$$

Таким образом, если толщина модели льда

$$h_m = h_h \lambda^{-4/3} \lambda_E^{1/3}, \quad (12)$$

то картина разрушения льда в плане будет подобна, а следовательно, одинаковыми будут число и расположение точек контакта объекта со льдом.

Зависимость энергии ломки пресноводного ледяного покрова от толщины и механических характеристик приведена ранее. Выражение для масштаба энергии ломки ледяного покрова имеет вид

$$\lambda_{A_z} = \frac{h_h^4 D_m \alpha_m^2}{h_m^4 D_h \alpha_h^2} = \lambda_h^4 \lambda^{-2}. \quad (13)$$

Проведенные в бассейне измерения модуля деформации E тонкого пресноводного льда и сопоставления с натурными данными, указывают на его зависимость от толщины льда. Эту зависимость в широком диапазоне можно аппроксимировать формулой

$$E = a \sqrt[3]{h}, \quad (14)$$

где a – коэффициент пропорциональности.

Поэтому будем полагать, что масштаб λ_E при испытании в естественном льду равен

$$\lambda_E = \lambda_h^{-1/3}. \quad (15)$$

Модуль пересчета сил сопротивления разрушению льда получим, подставляя в формулу (10) выражения для λ_{A_z} , λ_h и λ_E по формулам (12), (9) и (15),

$$\lambda_{R_p} = \lambda^3. \quad (16)$$

Следовательно, составляющая сопротивления R_p , связанная с разрушением льда, пересчитывается на натуру по кубу линейного масштаба модели λ^3 и естественным образом совпадает с модулем пересчета сил моделирующихся по критерию Фруда.

С использованием формул (4), (16), (7) и (14) можно показать, что, несмотря на несовпадение масштаба толщины λ_h с геометрическим модулем подобия λ , масштаб прогибов льда $\lambda_w = \lambda$.

Справедливость изложенного метода моделирования проверялась на моделях речных ледоколов проекта Р-47, выполненных в масштабах 1:27, 1:18, 1:13,5, и проекта 1105 в масштабе 1:50, морского ледокола R-класса в масштабе 1:40 и некоторых других.

Испытания показали удовлетворительную сходимость с натурными данными.

Пересчет сопротивления для широкого диапазона масштабов моделей судов $\lambda = 1 \div 50$, а также для масштабной серии ледокола проекта Р-47 не выявили, сколь угодно заметного масштабного эффекта.

Отметим, что описанный метод моделирования не противопоставляется более строгому методу, основанному на подборе материала модели льда. Однако он позволяет расширить объемы модельных исследований, используя для них открытые бассейны и естественные водоемы, а также производить испытания крупномасштабных и полунатурных моделей.

При вычислениях было принято

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{12 \rho g (1 - \mu^2)}{E h^3}} \text{ - параметр упругого основания при изгибе ледяной пластины;}$$

E – модуль упругости льда, принято $E = 5 \cdot 10^6$ МПа;

μ – коэффициент Пуассона для льда, $\mu = 0,36$;

ρ – плотность воды, т/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Полученные данные при определении влияния L/B и площади объекта использовались для определения проломной нагрузки энергомодуля.

При испытаниях было отмечено, что при кинематическом погружении и вертикальном перемещении всех моделей вначале возникают радиальные трещины, а затем при

дальнейшем перемещении – кольцевые последовательно от периферии к центру. И после этого наступает полный пролом ледяного поля, когда обломки практически не взаимодействуют между собой.

Методика пересчета испытаний моделей объекта с систематически изменяемыми характеристиками базируется на теории моделирования деформирования и разрушения ледяного покрова с помощью пресноводной модели льда

Планирование эксперимента в полном объеме затруднено. Это связано с неизбежной случайностью толщины ледяного поля в момент проведения испытания. Грубый прогноз толщины намораживаемого льда базируется на времени и температуре воздуха. Но случайные метеорологические факторы (влажность, давление, динамика температуры, ветер) вносят свой вклад в фактическую толщину модели ледяного покрова, которая определяется сразу после разрушения ледяной пластины. Они же вместе с аппаратными случайными погрешностями приводят к некоторому разбросу измеряемых величин и наблюдаемых картин разрушения ледяных пластин. Фактически опыты не обладают высокой степенью повторяемости.

Соотношения геометрических параметров моделей имеют необходимый диапазон изменчивости, но конкретные соотношения параметров проектируемого объекта могут не совпадать с дискретным рядом моделей.

Поэтому экспериментальные данные сначала подвергаются предварительной обработке. Строятся диаграммы в координатах «сила – прогиб». Численные характеристики диаграмм аппроксимированы полуэмпирическими зависимостями, учитывающими существенные факторы процесса деформирования и разрушения льда. Например, проломное усилие описывается уравнениями вида (3). Затем рассчитываются кривые для моделей с параметрами вариантов натуры. Затем в заданном диапазоне проектируемого объекта, заданных его характеристиках выполняется пересчет данных на натуру.

Пересчет толщины ледяного покрова и проломного усилия выполняется по формулам (12) и (16).

Физико-механические характеристики льда при пересчете берутся для модели и натуры соответственно.

Для учета влияния ледовых условий на облик и конструктивные особенности подводного судна воспользуемся формулой расчета проломного усилия полученной на основе анализа ледовых испытаний (3).

Коэффициент удельной энергии разрушения льда при погружении вмерзшего энерго модуля, по данным опытов, равен $k = k' \cdot \sigma_{\text{И}} = 1378$ кПа. Средняя прочность льда на изгиб в условиях опыта $\sigma_{\text{И}} = 1,54$ МПа.

Погружение в ледовых условиях может быть затруднено из-за смерзания корпуса с плавающим ледяным покровом. При наличии вертикального борта усилие, приводящие к сдвигу корпуса относительно льда Z по поверхности контакта, прямо пропорционально касательному напряжению адгезии морского льда с корпусом, периметру судна и толщине льда:

Эти усилия кратно превышают усилия ломки ледяного покрова изгибом. Адгезия стали корпуса со льдом настолько велика, что в любом случае удерживающие от погружения энерго модуля усилия определяются проломной нагрузкой ледяного покрова.

Уравнение (3) показывает, что к снижению проломной нагрузки или увеличению толщины проламываемого ледяного покрова при погружении приводит уменьшение площади ватерлинии надводного положения, а также уменьшение отношения длины к ширине L/B . Эта формула описывает экспериментальные данные. Для пересчета на натуру необходимо определить масштаб пересчета по длине натуры и модели и воспользоваться формулами (12) и (16).

Получены нижние пределы толщин проламываемого льда. Это связано с тем, что методы пересчета не в полной мере адекватно отражают современное состояние вопроса.

Эксплуатационная документация на подводное судно должна содержать инструкцию по эксплуатации в ледовых условиях. Необходимо контролировать соленость воды, температуру воздуха и толщину ледяного покрова.

Для конкретного проекта подводного судна должны быть разработаны таблицы и графики, позволяющие принимать эксплуатационные решения о необходимости погружения при вмерзании в лед.

Библиографический список

1. **Богородский, В.В.** Лёд / В.В. Богородский, В.П. Гаврило. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 383 с.
2. **Богородский, В.В.** Разрушение льда / В.В. Богородский, В.П. Гаврило, О.А. Недошивин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 232 с.
3. **Богородский, В.В.** Физика пресноводного льда / В.В. Богородский, А.В. Гусев, Г.П. Хохлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1971.
4. **Бутягин, И.П.** Прочность льда и ледяного покрова / И.П. Бутягин. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1966. – 154 с.
5. **Доронин, Ю.П.** Морской лед / Ю.П. Доронин, Д.Е. Хейсин. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 320 с.
6. **Зуев, В.А.** Средства продления навигации на внутренних водных путях / В.А. Зуев. – Л.: Судостроение, 1986. – 207 с.
7. **Ионов, Б.П.** Ледовая ходкость судов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. – СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
8. **Романов, А.А.** Ледяной покров Арктического бассейна / А.А. Романов. – СПб.: ААНИИ, 1992. – 211 с.
9. Физика и механика льда: [пер. с англ.] / под ред. П. Трюде. – М.: Мир, 1987. – 352 с.
10. **Алексеев, Ю.Н.** Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа / Ю.Н. Алексеев [и др.]. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2013*

V.C. Antonov¹, E.M. Gramuzov², V.A. Zyeu², A.G. Larin², U.M. Trapeznikov¹

EXPERIMENTAL STUDY OF THE POSSIBILITY OF DIVE THE SUBMARINE FROZEN IN THE ICE

СКБ Malahit¹,

Nizhny Novorod state technical university n.a. E.E. Alexeev²

Purpose: This article describes the experimental data and theoretical base to investigate the possibility of the submarine frozen into the ice to dive.

Design/methodology/approach: The article provides a methodology for calculating the possibilities submarine dive frozen into the ice. The method is based on the theory of modeling. In order to convert to a full-scale ship used experimental data.

Findings: As a result, studies have received a methodology for the calculation opportunities of immersion for different ice thicknesses, different size of the ship and the salinity of the ice. Chart breaking force from of the deflection of the ice cover were obtained as result the test. The typical form of this dependence is shown. Values failure force depending on the ratio of length to width of the load, waterline area for power module were obtained.

Research limitations/implications: The size of the article doesn't allow to present detailed results of end-use measurements.

Originality/value: First studies have been conducted and the results obtained for this type of vessel.

Key words: ice cover, ice breaking technology, a model of natural ice, failure load, the theory of modeling, Arctic.