

УДК 629.12.011

А.Г. Ларин

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОГРУЖЕНИЯ И ВСПЛЫТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описана экспериментальная установка для исследования возможности погружения и всплытия энергетического модуля в ледовых условиях. Изложен метод моделирования в естественном льду. Приведены формулы пересчета модельных испытаний на натуру.

Представлен порядок проведения опытов по моделированию всплытия погружного энергомодуля.

В результате опытов были получены графики зависимости разрушающего усилия от прогиба ледяного покрова для разных толщин льда и разных моделей. Приведен характерный вид такой зависимости.

Получены зависимости разрушающего усилия в зависимости от длины и ширины нагрузки, площади ватерлинии и толщины льда. Эти формулы в дальнейшем использовались для пересчета на натурное судно.

*Ключевые слова:* энергомодуль, ледовый опытовый бассейн, модель естественного льда, Арктика, диаграмма разрушения ледяного покрова.

Арктика является важным регионом, богатым природными ресурсами. В последнее время началось активное освоение данной территории всеми приарктическими странами. Принимаются стратегии развития и освоения данных территорий и месторождений, находящихся на них. В настоящее время разработаны и приняты на государственном уровне программы по развитию Арктического региона в четырех странах: России (принята в 2008 г.), Норвегии (2008 г.), США (январь 2009 г.) и Канаде (2009 г.). Кроме того, интерес к Арктике проявляет Дания. В нашей стране разрабатываются проекты подводной добычи углеводородов. Обеспечение электроэнергией установок для добычи углеводородов предусматривается с плавучих энергомодулей. В момент наступления сложной ледовой обстановки энергомодуль погружается под воду, и снабжение электроэнергией продолжается в погруженном положении.

Данный вид морской техники только разрабатывается. Разработки ведутся в нескольких странах. Однако использование данных судов в условиях крайнего севера рассматривается только в нашей стране.

Нет данных по эксплуатации данных типов судов и не существует практических методов расчета возможности погружения и всплытия данных объектов. Все это не позволяет дать даже приближенную оценку по возможности использования данных судов в различных ледовых условиях. С целью получения методики расчета и составления рекомендаций по безопасному всплытию и погружению были проведены модельные испытания моделей данных судов.

Целью данного исследования является определение возможности всплытия и погружения энергомодуля для подводной добычи углеводородов в Арктике в ледовых условиях, а именно определение предельной толщины льда, при которой возможно безопасное всплытие и погружение.

Испытания проводились в ледовом опытовом бассейне НГТУ им. Р.Е. Алексеева в январе-марте 2012 г сотрудниками кафедры «Кораблестроение и авиационная техника». Общий вид ледового бассейна показан на рис. 1.

Для проведения эксперимента использовался естественный пресный лёд. Он обладает повышенной прочностью – большей, чем требует строгая теория моделирования, поэтому, очевидно, и получило распространённое мнение о невозможности его использования. Допу-

стимость применения натурального льда в данном случае обусловлена тем, что повышенная прочность компенсируется меньшей толщиной ледяного покрова. Такой подход называется «методом Зуева-Грамузова» [1, 2]. При моделировании должно обеспечиваться равенство безразмерных прогибов. В таком случае картина разрушения льда в плане будет подобна, следовательно, одинаковыми будут число и расположение точек контакта объекта со льдом



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

Пересчет на натуру осуществляется по следующим зависимостям [1]:

$$h_{\text{н}} = \lambda^{4/3} \cdot \lambda_E^{-1/3} \cdot h_{\text{м}}, \quad (1)$$

$$P_{\text{н}} = \lambda^3 \cdot P_{\text{м}}, \quad (2)$$

$$v_{\text{н}} = \sqrt{\lambda} \cdot v_{\text{м}}, \quad (3)$$

где  $\lambda_E = \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{м}}}$  – масштаб модулей упругости;

$\lambda = \frac{L_{\text{н}}}{L_{\text{м}}}$  – геометрический масштаб;

$v_{\text{н}}, v_{\text{м}}$  – скорости деформирования натурального и модельного ледяного покрова;

$P_{\text{н}}, P_{\text{м}}$  – проломная нагрузка для модельного и натурального льда.

Описанный метод моделирования позволяет расширить объемы модельных исследований, используя для них открытые бассейны и естественные водоемы, а также производить испытания крупномасштабных и полунатурных моделей. 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. Толщина льда определялась с помощью мерной линейки. Полученные данные заносились в протоколы.

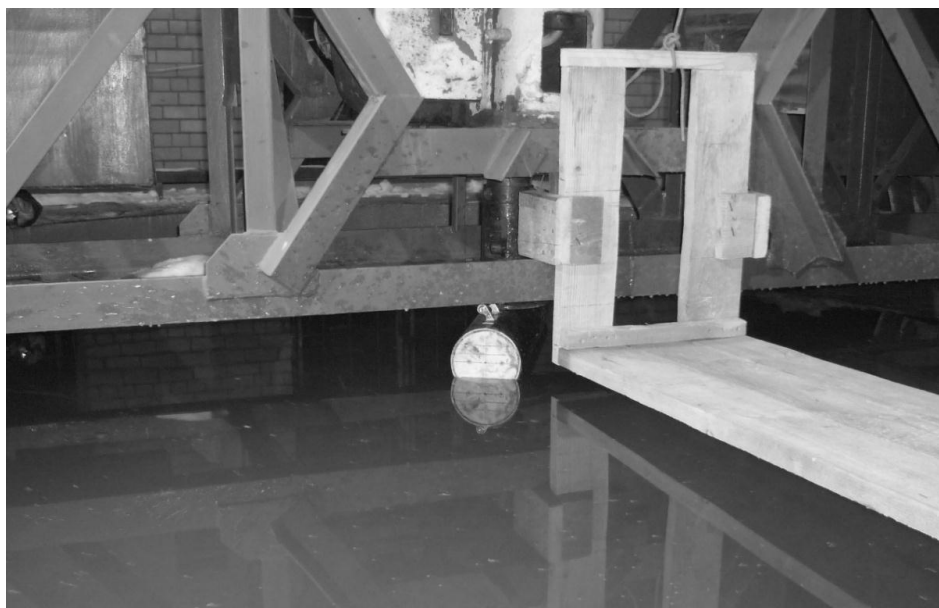


Рис. 2. Модель энерго модуля

Для моделирования погружения ядерного энерго модуля были выполнены модели судна диаметром  $\varnothing 168$  мм и длинами 500, 750, 1000 и 1500 мм. Модели выполнены из стальной трубы с толщиной стенки 10 мм. С торцов трубы заглушены и на заглушках нанесены отметки ватерлиний, соответствующие осадкам 84, 104 и 125 мм.

Эксперименты выполнялись для моделей для следующих случаев:

- модель  $L = 500$  мм для осадки  $T = 84$  мм;
- модель  $L = 750$  мм для осадок  $T = 84, 104, 125$  мм;
- модель  $L = 1000$  мм для осадки  $T = 84$  мм;
- модель  $L = 1500$  мм для осадок  $T = 104, 125$  мм.

Изображение одной из моделей энерго модуля, установленной в ледовом опытовом бассейне, показано на рис. 2.

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

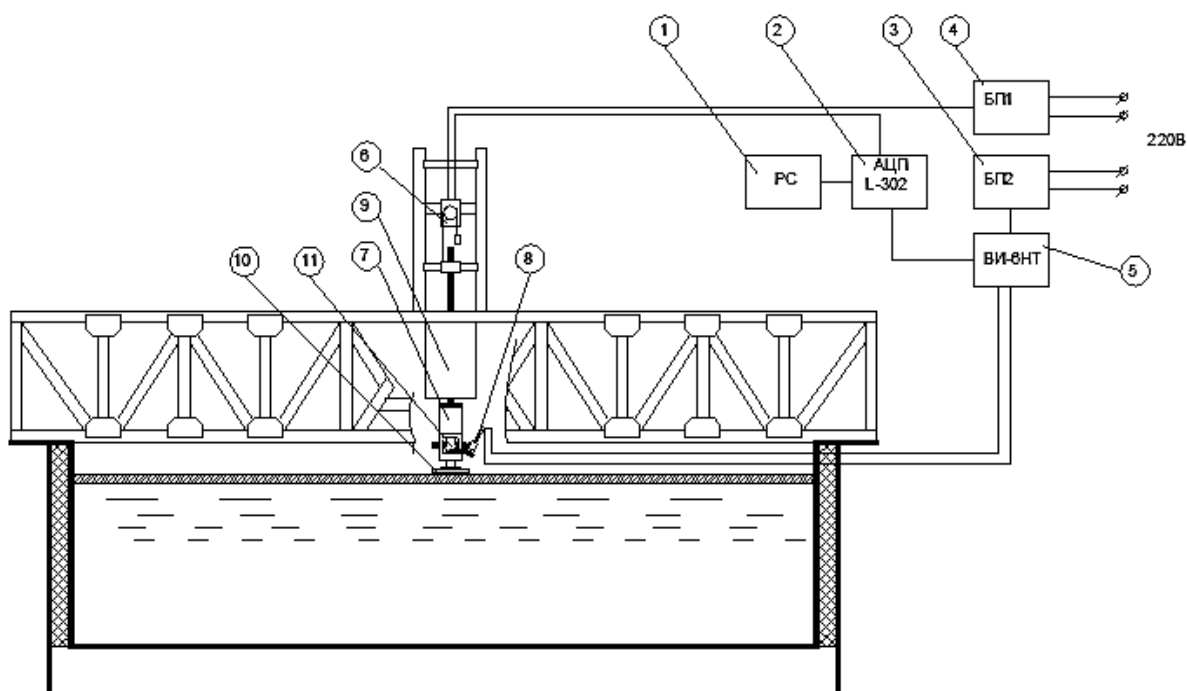
Перед началом проведения всех опытов была произведена градуировка всех измерительных приборов.

Схема испытательной установки представлена на рис. 3.

Опытовый круглый ледовый бассейн имеет диаметр 4,4 м и глубину 0,7 м. На planшине бассейна смонтирована ферма, внутри которой установлен механический пресс (поз. 9) для нагружения ледяного покрова. В качестве прессы используется универсальная испытательная машина УММ-5 с предельной нагрузкой 49 кН. Машина имеет пять скоростей нагружения: 2, 4, 10, 20, 50 мм/мин. Испытательная машина жестко закреплена на ферме. Пролом осуществляется нижней консолью. Для привода прессы 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 непосредственно с пульта на испытательной машине или с выносного пульта.

На шток прессы навинчивается силоизмеритель 7, в который монтируется динамометр сжатия системы Н.Г. Токаря типа ДООУ-1 11 для пролома в направлениях вниз и вверх. В динамометр на место индикатора часового типа устанавливается датчик линейного перемещения ДП-2СМ 8, для измерения усилия, развиваемого на динамометре. Датчик питается от виброизмерительного прибора ВИ6-6ТН. С помощью ВИ6-6ТН сигнал от датчика передается

на плату аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) 2 и далее с помощью программного обеспечения, поставляемого вместе с АЦП, записывается на компьютер 1. Для питания виброизмерительного прибора ВИ6-6ТН используется источник питания постоянного тока Б5-8. Для измерения перемещения штока прессы используется потенциометр ПТП-1 6, на который установлен шкив, через который перекинута нить. Один конец нити закреплен на штоке прессы, на другом подвешен груз, чтобы обеспечить натяжение нити. Сам датчик закреплен на перекладине, между колоннами прессы, которые служат опорами для верхнего конца штока. Питание потенциометра осуществляется от источника питания постоянного тока Б5-12. Сигнал от датчика непосредственно передается на АЦП. Для уменьшения помех все оборудование заземлено на общую «землю».



**Рис. 3. Схема экспериментальной установки:**

1 – Персональный компьютер; 2 – аналогово-цифровая плата; 3 – блок питания Б5-12 для питания потенциометра ПТП-1; 4 – блок питания Б5-8 для питания виброизмерительного прибора ВИ6-6ТН; 5 – виброизмерительный прибор ВИ6-6ТН для питания и приема сигнала с датчика усилия; 6 – потенциометр ПТП-1 для измерения перемещения штока прессы; 7 – силоизмеритель, для размещения динамометра; 8 – датчик линейных перемещений для измерения усилия; 9 – пресс; 10 – съемный штамп для пролома льда; 11 – динамометр сжатия ДОУ-1

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

В результате испытаний были получены диаграммы разрушающих усилий от прогиба ледяного покрова. Характерный вид такой зависимости показан на рис. 4. Были получены значения проломного усилия в зависимости от отношения длины к ширине нагрузки, площади ватерлинии энергомодуля. Также была исследована качественно картина процесса разрушения ледяного покрова.

Полученные результаты были пересчитаны на проект натурального судна. Были определены предельные толщины льда, при которых возможно безопасное погружение и всплытие энергомодуля.

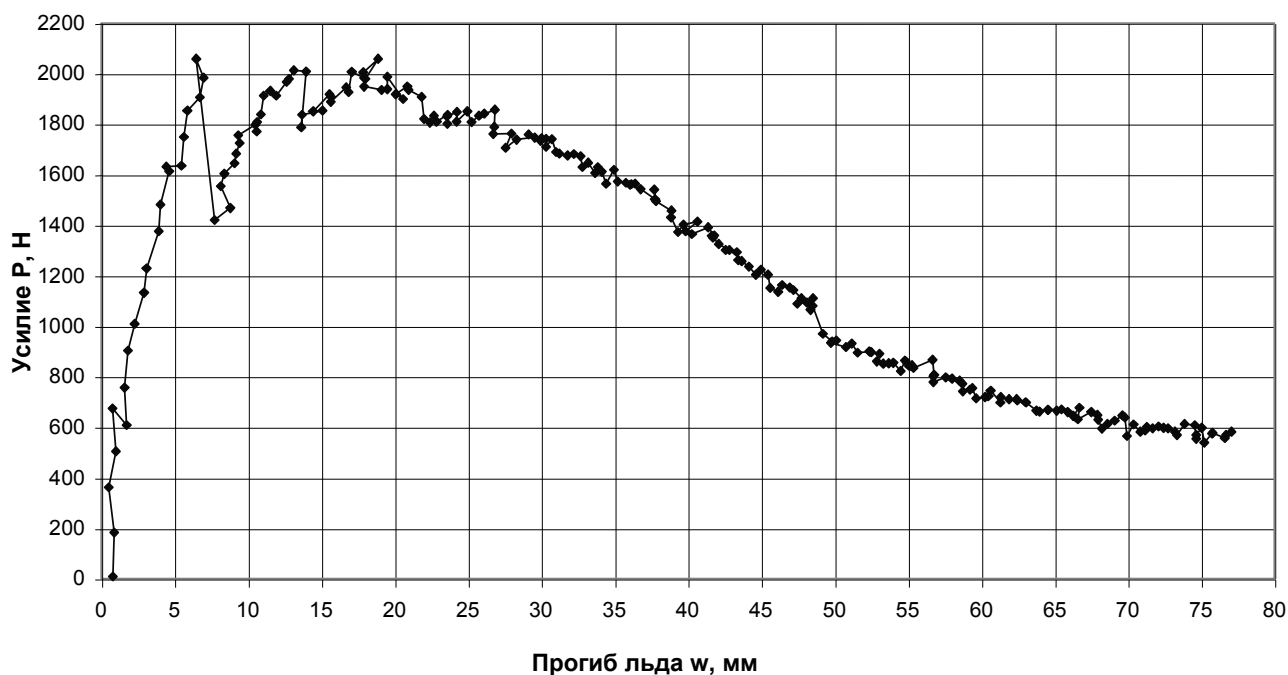


Рис. 4. Характерная диаграмма разрушения ледяного покрова

#### Библиографический список

1. **Ионов, Б.П.** Ледовая ходкость судов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. – СПб.: Судостроение, 2001 – 512 с.
2. **Зуев, В.А.** Моделирование ледового сопротивления судов. / В.А. Зуев, Е.М. Грамузов, Д.А. Семенов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород. 2011. №3 (90). С. 190-195.

Дата поступления  
в редакцию 21.01.2013

**A.G. Larin**

### RESEARCH STAND FOR DEFINITION POSSIBILITY A DIVE AND EMERSION THE ENERGY MODULE IN ICE CONDITIONS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

This article describes the research stand for determine possibility the descent and ascent of the energy module in ice conditions.

Overview process of the modeling in the natural ice conditions and conversion formulas model data for the full -scale ship was given.

Demonstrated the possibility of using the method of modeling in natural ice to simulate the fracture process.

The technique of model tests and data processing was showed.

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.

We investigated the qualitative picture of the process of destruction of ice cover. The results were converted to the project full-scale ship. Identified marginal ice thickness, when it is possible safe diving and surfacing power module.

*Key words:* energy module, research stand for ice condition, model natural ice, Arctic, chart damage ice cover.