

УДК 629.563.2

**А.С. Бабак, инженер-конструктор 3 категории,**

**И.Л. Благовидова, начальник сектора динамики корабля**

ПАО «ЦКБ «Коралл»

ул. Ретина, 1, г. Севастополь, 299028

E-mail: office@cdbcoral.com

## **ВЫБОР ФОРМЫ КОРПУСА ПЛАВУЧИХ УСТАНОВОК ДЛЯ РАЗВЕДОЧНОГО И ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО БУРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

*Выполнен анализ формы ледостойких плавучих буровых установок, эксплуатирующихся в настоящее время на шельфе арктических морей. Найдена оптимальная форма корпуса для работы в ледовых условиях.*

***Ключевые слова:** арктический шельф, обеспечение ледостойкости, ледовые нагрузки, плавучие ледостойкие платформы, проектирование ледостойкой формы корпуса.*

**Постановка проблемы.** Мировые потребности в нефти и газе требуют сейчас и, тем более, будут требовать далее освоения Арктики. В российской части Арктики сосредоточено около четверти мировых ресурсов углеводородов, более 70 % ресурсов нефти и свыше 80% ресурсов газа всех морских акваторий России. Анализ имеющихся данных по месторождениям арктического шельфа показывает, что в ближайшее время разведочное и эксплуатационное бурение будет в основном выполняться в районах Баренцева, Печерского, Карского и Охотского морей.

Особенностями арктических морей являются: чрезвычайно низкие температуры воздуха и воды зимой; наличие ледяного покрова; в зависимости от суровости года лед присутствует до 10 месяцев; наличие дрейфующих льдов, айсбергов, торосов; значительные скорости ветра; значительное волнение моря в безледовый период; исключительно чувствительная экосистема; практически полное отсутствие инфраструктуры: портов убежищ, баз снабжения и т.п.; сложнейшие вопросы транспортировки добытых углеводородов.

Морские инженерные сооружения для выполнения комплекса работ связанных с освоением и обустройством месторождений шельфа арктических морей должны воспринимать и выдерживать значительные ледовые нагрузки или другими словами быть ледостойкими. Вообще говоря, ледостойкими надо считать сооружения, у которых конструктивная форма и размеры несущих элементов определяются прежде всего ледовым режимом. В этой связи, особенно важным представляется грамотное обоснование выбора формы конструкции арктического шельфового сооружения. Арктические районы характеризуются очень тяжелыми ледовыми условиями и соответственно большими действующими на сооружения ледовыми нагрузками. Эти нагрузки могут быть существенно понижены за счет выбора формы корпуса платформы в районе ледовых воздействий. В свою очередь обеспечение ледостойкости платформ и, соответственно, продление периода бурения за счет возможности удержания платформы на точке до определенного предела нагрузок в период воздействия на нее ледовых образований имеет большое значение.

**Цель работы** – выбор и обоснование формы плавучего основания ледостойкой буровой установки для разведочного и эксплуатационного бурения, оптимального с точки зрения воспринимаемой ледовой нагрузки.

**Изложение основного материала.** При проектировании ледостойких платформ применяется несколько основных приемов уменьшения воздействия льда на сооружение: уменьшение числа опорных элементов в районе ватерлинии или сужение конструкции, поддерживающей верхнее строение; устройство защитных конструкций вокруг опор; придание внешней поверхности корпуса (или защитной конструкции) конической или иной формы, способствующей разрушению льда на изгиб, а не на сжатие.

На основе данных о разработанных объектах выделены следующие основные типы ледостойких плавучих оснований:

– современные буровые суда соответствуют ледовым классам Arc4 и Arc5, что гарантирует работу в зимне-весеннюю навигацию в тонком однолетнем льде и среднем однолетнем льде толщиной до 0,5 м; в летне-осеннюю навигацию – в среднем однолетнем льде толщиной до 0,9 м (например, проект бурового судна ледового класса фирмы «Huisman» предполагает его использование при толщинах льда 0,8 м);

– полупогружные платформы катамаранного типа предназначены для работы в битых льдах с толщиной льда 0,7 м – 1,2 м (ППБУ «Полярная звезда» и «Северное сияние» – 0,7 м) а также в ровных льдах с толщиной льда до 0,5 м (проект ППБУ JBF 10000W фирмы Huisman). Проект полупогружной платформы с кольцевым понтоном той же фирмы предполагает использование платформы для эксплуатации во льдах с толщиной 1,5 – 2,0 м;

– плавучие платформы с цилиндрическим корпусом и обратным конусом в районе воздействия льда, предназначенные для эксплуатации в ледовых условиях с толщиной льда в диапазоне 1,2 – 2,0 м (например, платформы «KULLUK» и «SEVAN»).

Таблица 1 – Ледовые нагрузки на платформы различных типов

Параметр	Платформа							
	С конусной вставкой (обратный конус)				Катамаранного типа			
	SPAR	Kulluk	Ледокольный буй*	Sevan	JBF Artic	Mitsui	MOSS CS50 MkII	МВП**
Диаметр по ледовой ватерлинии, м	30,0	72,0	81,8	103,0	103,0	-	-	-
Число колонн	-	-	-	-	-	4	6	4
Диаметр колонн, м	-	-	-	-	-	18,0	12,8 и 11,2	14,4
Угол наклона образующей конуса (в том числе и на колонне), град	45	29	60	60	45	45-50	-	-
Толщина ровного льда, м	2,0	1,2	2,0	1,9	1,5 - 2,0	1,06/2,13	1,2	1,2
Ледовая нагрузка, МН	4,9	3,0	19,3	22,0	-	7,0/19,0	130,0	75,0
Толщина битого льда, м	-	-	-	-	-	-	0,7	1,2
Ледовая нагрузка, МН	-	-	-	-	-	-	8,1	4,5
Количество связей	18	12	27	24 - 28	16	12	8	12
Диаметр троса/калибр цепи, мм	-	89	-	-	108	100	84	100

\*корпус ледокольного буя по форме аналогичен корпусу платформы «SEVAN»;

\*\*морская вертолетная платформа представляет собой полупогружную платформу катамаранного типа с четырьмя вертикальными восьмигранными стабилизирующими колоннами.

Сравнительная оценка величин ледовых нагрузок на сооружения различного конструктивного типа выполнена на основе результатов модельных испытаний в ледовых бассейнах. В таблице 1 приведены ледовые нагрузки на ледостойкие сооружения различных типов.

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что для конструкций катамаранного типа, имеющих в месте воздействия ледового поля с колоннами вертикальные поверхности (цилиндрической или прямоугольной формы в плане), ледовые нагрузки значительно превышают нагрузки на платформы, имеющие в районе действия льда конструкцию в виде обратного конуса. Кроме того, угол образующей конуса также влияет на величину ледовых нагрузок. Для оценки влияния угла образующей конуса были выполнены расчеты; результаты которых приведены в таблице 2 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 2 – Ледовые нагрузки на сооружения с разным углом образующей конуса

Параметр	Ширина сооружения в месте контакта со льдом, м							
	30,0	72,0	81,8	103,0	110,0	115,0	120,0	
Угол образующей конуса 30°								
Толщина льда, м	2,0							
Ледовая нагрузка, МН	3,6	5,2	5,7	7,7	7,9	8,1	8,2	
Толщина льда, м	1,2							
Ледовая нагрузка, МН	1,9	2,9	3,2	4,1	4,3	4,3	4,4	
Угол образующей конуса 45°								
Толщина льда, м	2,0							
Ледовая нагрузка, МН	4,9	9,5	10,5	13,9	14,4	14,7	14,9	
Толщина льда, м	1,2							
Ледовая нагрузка, МН	3,1	5,3	6,0	7,4	7,8	8,0	8,1	
Угол образующей конуса 60°								
Толщина льда, м	2,0							
Ледовая нагрузка, МН	12,4	18,6	20,8	27,3	28,8	29,4	29,9	
Толщина льда, м	1,2							
Ледовая нагрузка, МН	6,7	10,3	11,7	14,7	15,5	16,0	16,2	

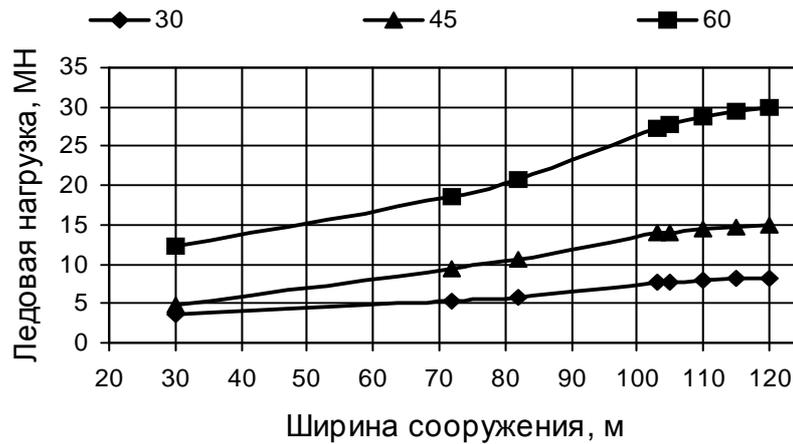


Рисунок 1 – Ледовые нагрузки в зависимости от угла конуса (толщина льда 2,0 м)

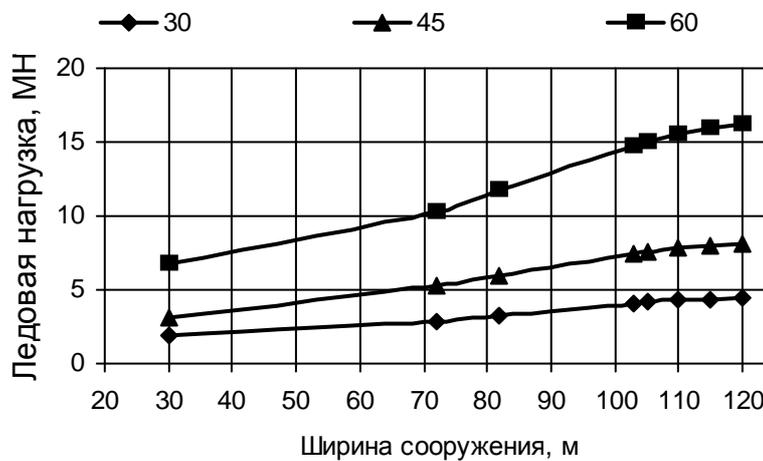


Рисунок 2 – Ледовые нагрузки в зависимости от угла конуса (толщина льда 1,2 м)

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

- ледовые нагрузки на полупогружные платформы катамаранного типа, имеющие в месте воздействия ледового поля вертикальные поверхности (цилиндрической или прямоугольной формы в плане), достаточно велики; такой тип платформ можно использовать в условиях битых льдов;
- платформы, имеющие в районе воздействия льда конструкцию, представляющую собой обратный конус, более ледостойки (это относится как к монокорпусным платформам, так и к многоопорным платформам катамаранного типа, имеющим на каждой из стабилизирующих колонн такую конструкцию);
- в случае с многоопорными конструкциями также важно соотношение размеров колонн и расстояний между ними для исключения с одной стороны, забития льдом пространства между колоннами, с другой – для возможного уменьшения нагрузки за счет взаимного влияния колонн;
- угол образующей конуса значительно влияет на величину ледовой нагрузки.

Тогда с точки зрения минимизации ледовых нагрузок, оптимальной может быть названа конструкция представляющая из себя моноопорное основание с минимально возможными размерами поперечного сечения в месте воздействия ледовой нагрузки и имеющая в месте контакта со льдом наклонную (конусообразную) бортовую обшивку. Предварительные расчеты показывают, что наиболее оптимальным будет плавучее основание треугольной формы, с обводами приближенными к судовым и турельным устройством, обеспечивающим возможность поворота вокруг него корпуса платформы для осуществления флюгерирования с целью минимизации ледовых воздействий на него.

Для проведения оценочных расчетов и испытаний были приняты следующие размерения установки: длина габаритная — 111,90 м; ширина корпуса — 66,00 м; осадка эксплуатационная — 16,00 м; высота борта — 33,00 м.

Боковой вид плавучего основания установки показан на рисунке 3, вид сверху – на рисунке 4.

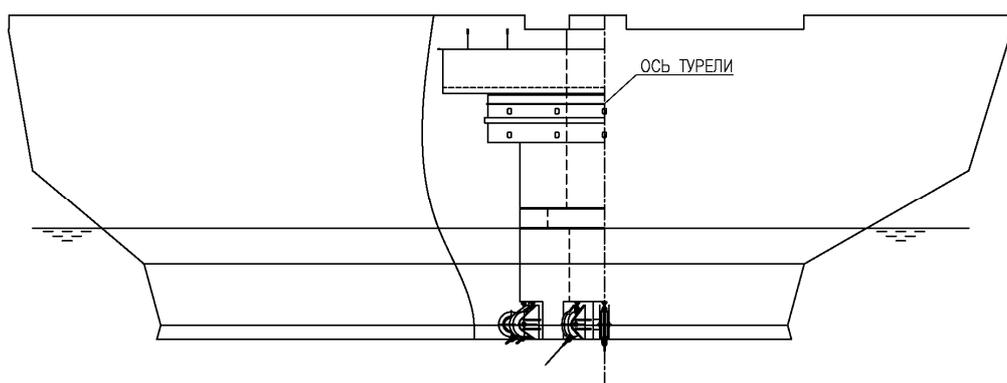


Рисунок 3 – Боковой вид установки

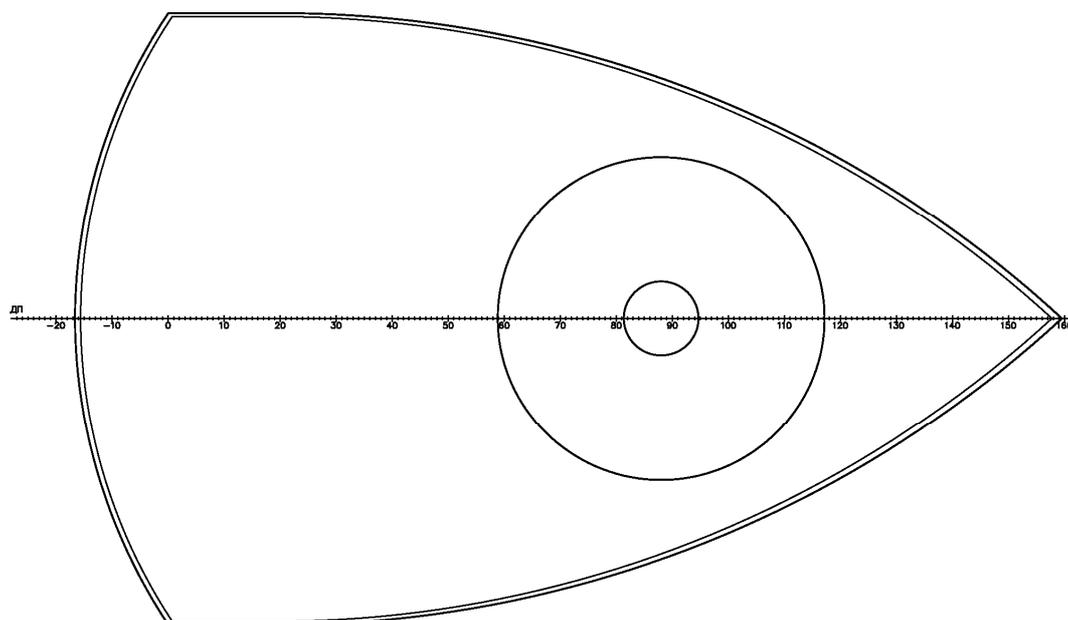


Рисунок 4 – Вид сверху

В связи с тем, что установка оборудована турелью, то под воздействием движущихся льдов она разворачивается в положение, при котором ее носовая оконечность направляется навстречу движению льда, и лед, движущийся к сооружению, прорезается штевнем. Таким образом, воздействие льда платформу при расчете ледовых нагрузок рассматривалось с направления «в нос» установки.

Выполнены предварительные расчеты ледовых нагрузок по различным расчетным методикам [1], [2]. По результатам расчетов установлено, что при воздействии ледового поля с толщиной льда 2,0 м при скоростях его дрейфа от 0,2 м/с до 1,0 м/с ледовая нагрузка с учетом 10% погрешности не превысит 9,0 МН; при толщине льда 1,5 м и скорости дрейфа от 0,2 м/с до 1,5 м/с – 7,0 МН [1], [2].

Расчетные параметры ледовых условий приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные параметры ледовых условий

Наименование	Значения
Ровный лед	
Толщина $h$ , м	1,5; 2,0; 3,0
Прочность ледяного покрова на изгиб $R_f$ , МПа	0,7
Модуль Юнга, ГПа	5
Коэффициент Пуассона	0,3
Скорость дрейфа льда, м/с	0,2; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5
Плотность льда, кг/м <sup>3</sup>	903
Коэффициент трения	0,15

Также были проведены модельные испытания установки в ледовом бассейне.

Выполнено два вида эксперимента.

1. Модель в начальный момент времени находилась на чистой воде, правым бортом прижата к ледовому полю. После начала движение ледового поля модель под действием нагрузки самопроизвольно разворачивалась на  $90^\circ$ , носом к направлению дрейфа льда.

2. Модель в начальный момент времени находилась на чистой воде, кормой прижата к ледовому полю, при этом угол между диаметральной плоскостью модели и направлением дрейфа льда составлял  $10^\circ$ . После начала движение ледового поля модель под действием нагрузки самопроизвольно разворачивалась на  $170^\circ$ , носом к направлению дрейфа льда.

Величина ледовой нагрузки, полученной расчетным путем, была подтверждена модельными испытаниями. При воздействии льда толщиной 1,5 м со скоростью дрейфа 0,5 м/с, нагрузка составила 7,56 МН.

**Выводы.** По результатам, полученным при выполнении работы, доказано, что «треугольный» корпус с турелью может самостоятельно занимать устойчивое равновесное положение, характеризующееся минимальным воздействием внешней среды. Модельные испытания показали, что разворот установки возможен при любом ее расположении относительно направления дрейфа льда.

Сравнительный анализ ледовой нагрузки на плавучие основания различных типов с разработанным плавучим основанием треугольной формы с турелью показал, что форма корпуса последнего оптимальна в рамках поставленной задачи. Данная форма плавучего основания рекомендуется к применению в ледовых условиях арктических морей.

Будет исследовано влияние отдельных элементов плавучего основания треугольной формы на внешние ледовые нагрузки.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. ISO 19906:2010 — 2010. Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures, введ. 2010 – 12 – 14. — 474 с.

2. Anchored Structures. Руководство пользователя / Центр «Морской инжиниринг» СПбГПУ: сост. С.А. Фролов, А.С. Большев. — СПб: СПбГПУ, 2008. — 94 с.

*Поступила в редакцию 16.12.2013 г.*

#### **Бабак А.С., Благовидова І.Л. Вибір форми корпусу плавучих установок для розвідувального та експлуатаційного буріння в умовах Арктики**

Виконано аналіз форми лідостійких плавучих бурових установок, що експлуатуються нині на шельфі арктичних морів. Зроблений вибір оптимальної форми корпусу для роботи в льодових умовах.

**Ключові слова:** арктичний шельф, забезпечення лідостійкості, льодові навантаження, плавучі лідостійкі платформи, проектування лідостійкої форми корпусу.

#### **Babak A.S., Blagovidova I.L. Selection of the hull's shape of floating units for exploratory and development drilling in Arctic conditions**

The shape of ice-resistant floating drilling units being operated in the arctic offshore nowadays has been studied. The optimal hull's shape for operation in ice conditions has been selected.

**Keywords:** arctic offshore, ensuring of ice-resistance, ice loads, floating ice-resistance platforms, designing of ice-resistance hull's shape.