

Тарануха Н. А., Миронов А. С.  
N. A. Taranukha, A. S. Mironov

## ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РАБОТЫ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

## OVERVIEW AND CLASSIFICATION OF PERMANENT OFFSHORE PLATFORMS FOR WORKING IN ICE CONDITIONS

**Тарануха Николай Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

**Mr. Nikolay A. Taranukha** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Shipbuilding Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenin Str.; tel. 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

**Миронов Андрей Сергеевич** – студент-магистр направления 26.04.02 – Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: mironswim@mail.ru.

**Mr Andrey S. Mironov** – Master's Degree Student major in shipbuilding, ocean engineering and system engineering of naval infrastructure (26.04.02), Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenin Str. E-mail: mironswim@mail.ru.

**Аннотация.** Данная статья посвящена стационарным морским платформам (СМП) для работы в ледовых условиях. Приведены проблемы создания сооружений для работы в ледовых условиях. Представлены рисунки ледостойких СМП по способу их крепления к морскому дну. Описана схема общего расположения ледостойкой тетраэдральной стационарной морской платформы.

**Summary.** This article is dedicated to permanent offshore platforms for working in ice conditions. The authors focus on creating constructions for working in ice conditions. The article presents drawings of ice-resistant permanent offshore platforms according to their attachment to the seabed. The article also describes the scheme of the general arrangement of the ice-resistant tetrahedral permanent offshore platforms.

**Ключевые слова:** ледовые условия; ледостойкие стационарные морские платформы; свайные; гравитационные; гравитационно-свайные, опорный блок, ледостойкая тетраэдральная стационарная морская платформа.

**Key words:** ice conditions; ice-resistant permanent offshore platform, piled; gravitational; gravity-piled; holding block, ice-resistant tetrahedral permanent offshore platform.

УДК 69.04

### Введение

Большая часть морских запасов углеводородов на шельфе России находится в районах, которые практически круглый год покрыты дрейфующим льдом разной степени сплоченности и отличаются неблагоприятными метеоусловиями. Морская и береговая инфраструктуры в районах многих месторождений отсутствуют [2].

Главными проблемами при создании сооружений (технических средств) для проведения буровых работ при освоении месторождений на шельфе являются:

- глубина дна моря в районе месторождения (с увеличением глубины значительно, в несколько раз увеличивается стоимость сооружений);
- разработка конструкций и строительство ледостойких платформ (опор) [2; 3].

Тип ледостойких сооружений определяется их функциональным назначением, особенностью ледового режима региона, глубиной моря и конкретными условиями. Для одного и того же региона выбор типа сооружения определяется внешними условиями и, прежде всего, знанием ледовой обстановки на месте установки платформы [2].

Стационарными ледостойкими платформами могут называться такие шельфовые сооружения, архитектура которых определяется главным образом способностью воспринимать глобальные и локальные ледовые нагрузки при эксплуатации в ледовой обстановке различного типа (сплошной лед, припайный лед, дрейфующие льдины, дрейфующие торосистые образования и т.д.) [2].

Основными факторами для проектирования СМП в ледовых условиях являются:

- круглогодичная эксплуатация месторождения;
- долговечность (срок эксплуатации сооружения (20-30 лет));
- принятие отдельных технических решений для каждого случая, т.к. этого требуют природные условия различных районов Арктики.

Все вышеперечисленные факторы обуславливают создание надежных в работе СМП при различных сейсмических условиях, особенно при работе в ледовых условиях [3].

Применяются два принципа восприятия ледовых нагрузок: с помощью цилиндрических колонн, прорезающих лед, или колонн, имеющих конусность в районе эксплуатационной ватерлинии, достаточную для ломки льда изгибом, и с помощью наклонной плоскости (угол наклона к горизонту  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ) для восприятия нагрузки широким фронтом и ломки льда изгибом [2].

По способу опирания (крепления) к морскому дну ледостойкие СМП бывают гравитационные, свайные, гравитационно-свайные.

### **Ледостойкая СМП гравитационного типа [1]**

Ледостойкая СМП гравитационного типа (см. рис. 1) представляет собой комбинированное сооружение, опорная часть которого состоит из фундаментной плиты, конусообразной колонны и несущей палубы.

Фундаментная плита и основание платформы представляют собой форму ячеистой конструкции, выполненную из монолитного железобетона. Размеры основания –  $100 \times 80 \times 11$  м. Углы основания скошены для улучшения мореходных качеств платформы. Основание состоит из верхней и нижней горизонтальных плит, соединенных сплошными вертикальными переборками. Толщина плит и переборок – равномерная и колеблется в пределах 400-600-800 мм. Переборки выполнены из радиально расходящихся и пересекающих их сплошных кольцевых переборок. На дне основания расположены выступающие ребра-юбки (общая высота каждой – 1,5 м), состоящие из железобетонной части высотой 0,75 м и стального гофрированного листа, заделанного в железобетонный выступ. Служат юбки для нескольких целей:

- предотвращения размыва дна вокруг платформы;
- увеличения сопротивления скольжению;
- образования подводной выравнивающей постели путем заполнения пространства между днищем опорного блока и поверхностью дна моря цементным раствором [1].

Железобетонное основание платформы разделено переборками на ряд балластных отсеков. Ячейки внутри каждого из них сообщаются через проемы во внутренних переборках, что обеспечивает свободный переток воды в пределах отсека. Подводные трубопроводы и стояки подводятся и отводятся по двум горизонтальным туннелям, прорезающим переборки основания и соединенным с опорной колонной.

Основание платформы имеет массу 55000 т, что соответствует объему железобетона  $22000 \text{ м}^3$ .

Опорная колонна выполнена из стального листа толщиной 32 мм. Изнутри ее корпус укреплен ребрами жесткости таврового сечения, расположенными вертикально вдоль колонны. Промежутки между тавровыми балками заполнены бетоном. Таким образом, обеспечиваются местная и общая прочность и жесткость колонны против действия ледовых нагрузок.

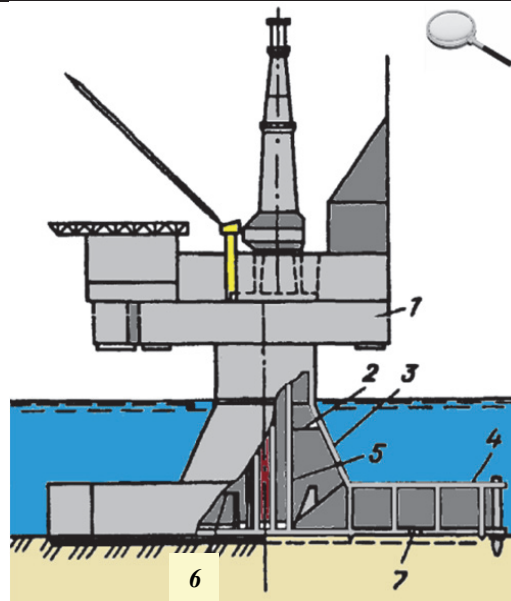


Рис. 1. Ледостойкая платформа гравитационного типа:  
 1 – верхнее строение; 2 – внутреннее помещение;  
 3 – подводная часть платформы; 4 – опорная часть платформы;  
 5 – бурильное устройство; 6 – балластные отсеки;  
 7 – опорная поверхность

В зоне действия льда колонна имеет цилиндрическую форму, а конусная часть расположена ниже этой зоны. Такое конструктивное решение необходимо из-за существующей реальной опасности смерзания льда с опорной колонны. В этом случае наклонные элементы не только полностью теряют свое назначение, но и становятся опасными, увеличивая зону контакта с ледовыми образованиями.

Несущая палуба выполнена из стальных элементов и имеет общую массу 3220 т. Палуба опирается на центральную колонну в четырех местах. Предусмотрена система ее выравнивания и уменьшения сопротивления горизонтальной срезающей нагрузке, действующей во время погружения и установки платформы на дно.

Общая масса колонны – 5900 т, в том числе стальных конструкций – 2200 т, а бетонных – 3700 т [1].

#### **Ледостойкая СМП со свайным фундаментом [1]**

Опорный блок платформы со свайным фундаментом состоит из четырех вертикальных цилиндрических колонн, жестко соединенных между собой стержневыми конструкциями (см. рис. 2). Две из колонн имеют наружный диаметр 15 м, в них размещены 24-25 буровых скважин. А две другие – 3-5 м, в них размещаются трубопроводы для забора морской воды, емкости для накопления сточных вод и т.п. Для предотвращения накопления льда расстояние между колоннами принято равным двум диаметрам (т.е. 30 м). Для усиления конструкции опорного блока и придания ему ледостойких характеристик приняты следующие решения:

- кольцевое пространство колонн в зоне действия льда, т.е. на уровне  $\pm 10$  м относительно отметки наименьшего астрономического отлива, заполнено бетоном;
- в зоне действия льда между колоннами отсутствуют жесткие связи;
- на уровне воды опорные колонны снабжены ледорезными устройствами;
- предусмотрен подогрев ледорезов для предотвращения накопления и смерзания колонн со льдом.

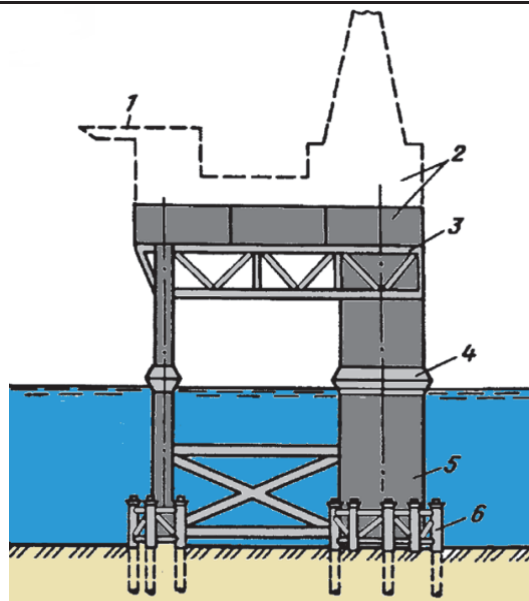


Рис. 2. Ледостойкая платформа свайного типа:  
 1 – вертолетная площадка; 2 – буровая установка;  
 3 – ферменная конструкция; 4 – ледорезное устройство;  
 5 – подводная часть опоры; 6 – свайное крепление

Несущая палуба является интегральной (общей) частью опорного блока и рассчитана на работу в качестве системы жестких связей на верхней отметке платформы. Это обстоятельство обуславливает необходимость установки несущей палубы на опорный блок перед отгрузкой и переводом конструкции в плавучее состояние [1].

Ее рамная конструкция служит для размещения двух рядов модулей длиной 25 м и шириной 16 м, три модуля располагают под участком бурения.

Каждую из четырех колонн крепят ко дну моря четырьмя подводными юбочными сваями [1].

### Ледостойкая платформа с комбинированным свайно-гравитационным фундаментом [1]

Одним из наиболее оптимальных вариантов свайно-гравитационных платформ является конструкция, представляющая собой стальной конический монопод на свайном основании с консольно-балочной несущей палубой (см. рис. 3). Между последней и конической частью опорного блока находится надводная цилиндрическая колонна с внешним диаметром 30 м. Нижняя часть монопода окаймлена снаружи круглым цилиндрическим свайным ростверком с наружным диаметром 70 м. В нем размещены 24 сваи. Кроме этого, имеется внутреннее кольцо из 12 свай, закрепленных по всей высоте монопода и надводного цилиндрического участка. Днище монопода для создания плавучести – сплошное, в связи с чем при детальном анализе рассматривают возможность использования несущей способности грунта под днищем при совместной работе со сваями.

Конструкции монопода на верхнем цилиндрическом и среднем коническом участках, а также нижнем цилиндрическом ростверке – радиально-кольцевые.

Наиболее целесообразной и экономичной конструкцией палубы, полностью соответствующей радиальному строению монопода, будет такая же радиально-кольцевая. Для этого блок-модули верхнего строения должны быть выполнены в виде секторов и сегментов в плане, иначе появится необходимость предусматривать для них опорные точки в соответствующих местах. Однако сделать и то, и другое затруднительно [1].

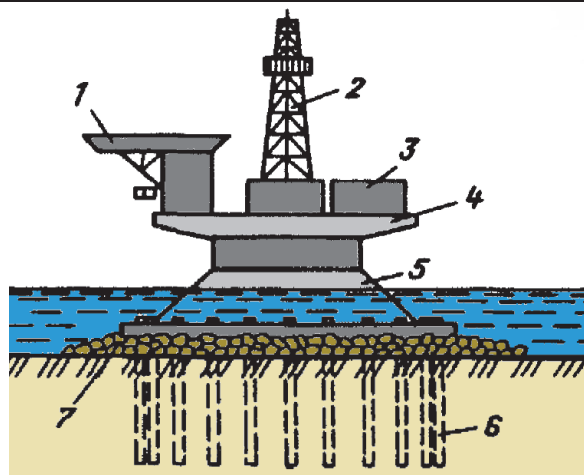


Рис. 3. Ледостойкая платформа с комбинированным гравитационно-свайным фундаментом: 1 – вертолетная площадка; 2 – буровая установка; 3 – служебные помещения; 4 – верхняя часть платформы; 5 – нижняя часть платформы; 6 – свайное крепление; 7 – подготовленное основание на дне

Для прямоугольных в плане блок-модулей наиболее приемлемой будет радиально-прямоугольное блочное строение, конструкция которого сложнее, чем радиально-кольцевая, из-за косых углов примыкания балок. Если же прямоугольное строение выполнить на верхнем уровне, а радиальное – на нижнем, то этот недостаток будет несколько сглажен. Такое решение повлечет за собой увеличение общей толщины несущего модуля, но обеспечит следующие преимущества:

- улучшится доступ к узловым соединениям и повысится ремонтпригодность элементов конструкций;
  - появится возможность для размещения на нижнем уровне балок емкостей и цистерн для хранения материально-технических запасов платформы и отходов бурения;
  - появится возможность для увеличения уклонов труб системы промышленных стоков.
- Платформа рассчитана на бурение одновременно 36 скважин двумя станками [1].

#### **Ледостойкая стационарная морская платформа тетраэдральной формы [4; 5]**

Ледостойкая стационарная морская платформа тетраэдральной формы состоит из стационарного кессона, образованного нижней донной и верхней опорной плитами, а также боковыми стенками. Общая конструкция ледостойкой тетраэдральной СМП показана на рис. 4. Стационарный стальной ледостойкий кессон выполнен в форме усеченного тетраэдра, нижняя донная плита 2 которого представляет собой равносторонний треугольник большего сечения, а верхняя опорная плита – треугольник меньшего сечения, на который опирается платформа для верхних строений 3. Вершина тетраэдра отсечена, и на ее месте расположена верхняя опорная плита. Высота, на которой необходимо отсечь вершину тетраэдра (собственно высота платформы), определяется путем суммирования следующих величин: глубины водоема и высоты волнения, характерных для данного месторождения (в данном регионе), плюс необходимый запас по высоте.

Боковые стенки 5 кессона устанавливаются с углом наклона относительно донной плиты  $60^\circ$  для исключения возможности возникновения изгибного разрушения конструкции в процессе эксплуатации и сброса льда с платформы в море [4; 5].

Такая конструкция платформы исключает резкий перепад сечения по высоте конструкции кессона. Треугольная форма ватерлинии обеспечивает платформе улучшенные мореходные качества в части сопротивления движению и устойчивости на курсе (в режиме буксировки). Уширение

книзу подводного объема корпуса тетраэдральной платформы обеспечивает ей улучшенные качества в части устойчивости на грунте.

Предлагаемая форма кессона в виде усеченного тетраэдра обладает лучшими характеристиками в части противостояния волновым, ледовым и ветровым воздействиям. При помощи «юбки» вся конструкция врезается в дно и происходит прочное закрепление платформы на грунте. Предлагаемая форма кессона обуславливает простоту изготовления, т.к. все конструкции плоские, и также значительно снижает материалоемкость [4; 5].

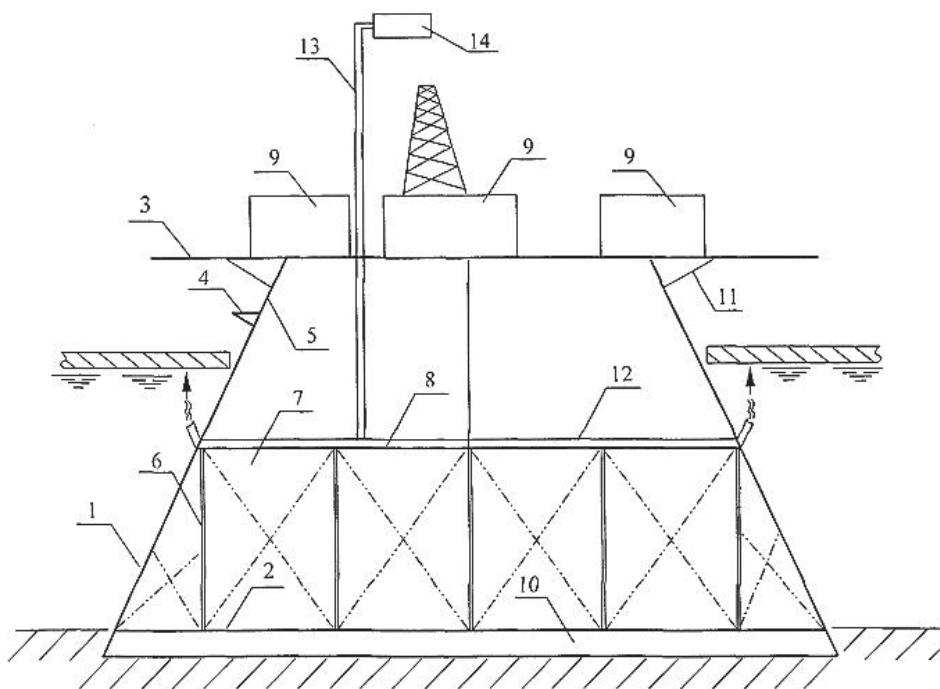


Рис. 4. Общая конструкция ледостойкой тетраэдральной СМП: 1 – стационарный кессон; 2 – нижняя донная плита; 3 – верхняя опорная плита (платформа для верхних строений); 4 – ледоломный козырек; 5 – наружная стенка (боковая); 6 – внутренняя переборка; 7 – резервуары для технологических жидкостей, продукции скважин, балласта; 8 – второе дно; 9 – функциональные блоки верхнего строения; 10 – юбка для предотвращения размыва грунта; 11 – кница; 12 – горизонтальная подогревающая труба; 13 – вертикальная труба; 14 – конструкция для освещения; 15 – набегающее поле льда

Защитные (от действия льда) свойства платформы усилены за счет естественного угла наклона стенок тетраэдра тем, что лед давит на стенки корпуса платформы практически всегда «не под прямым углом» и в вертикальной и горизонтальной плоскостях нижняя опорная плита имеет площадь, большую по сравнению с площадью верхней плиты.

Платформа для верхних строений 3 установлена на верхней опорной плите (на месте отсечения вершины тетраэдра) для размещения на ней функциональных блоков 9.

По всему периметру кессона с внешней стороны установлен ледоломный козырек 4. Он усиливает разлом льда 15 и препятствует «задиранию» льда до верхней опорной плиты, на которой формируется верхнее строение [4; 5].

Набегающее поле льда 15 разрушается от соприкосновения с боковыми стенками 5, которые расположены под углом  $60^\circ$ , а оставшаяся часть льда разрушается (разламывается) от соприкосновения с ледоломным козырьком 4.

Внутренний объем кессона используется для размещения цистерн главного балласта и цистерн хранения продукции скважин 7. Внутри кессона установлено второе дно 8, разделяющее внутреннюю полость кессона на два помещения. Между вторым дном 8 и нижней донной плитой

2 размещаются цистерны главного балласта, резервуары для хранения продукции скважин и технологических жидкостей. В нижнем помещении внутреннего объема кессона, для разделения резервуаров 7 между собой, установлены внутренние переборки 6 [4; 5].

Тетраэдральная ледостойкая СМП имеет возможность многократного использования. Улучшение эксплуатационных характеристик предлагаемой конструкции ледостойкой стационарной морской платформы обусловлено следующими факторами:

1) предлагаемой формой стационарного кессона, выполненного в виде усеченного тетраэдра, которая позволяет значительно снизить возможность возникновения изгибного разрушения конструкции во время эксплуатации;

2) предлагаемая форма кессона наиболее устойчива на грунте и, как следствие, способна лучше противостоять волновым, ледовым и ветровым воздействиям, вследствие чего мы получаем объект с улучшенными эксплуатационными характеристиками в части мореходности (при буксировке) и равномерности посадки на грунт;

3) усилением защитных свойств платформы от действия льда, что обусловлено тем, что угол наклона стенок по отношению к основанию составляет  $60^{\circ}$ , лед давит на стенки корпуса платформы практически всегда «не под прямым углом», нижняя донная плита имеет площадь, большую по сравнению с площадью верхней опорной плиты;

4) эффективным противостоянием конструкции предлагаемой платформы ледовым полям (т.е. разрезание ледовых полей и «задираание» льда наверх) и волновым воздействиям за счет установки ледоломного козырька [4; 5].

Улучшение технологических характеристик объекта достигается:

1) исключением необходимости в предварительном выравнивании дна под установку платформы благодаря тому, что в нижней части конструкции сформирована «юбка» треугольной формы, при помощи которой платформа врезается в дно, и происходит процесс самовыравнивания объекта на грунте;

2) простотой изготовления такой конструкции и снижением материалоемкости за счет того, что все элементы кессона плоские;

3) возможностью многократного использования платформы [4; 5].

### **Заключение**

1) В работе описаны стационарные морские платформы для работы в ледовых условиях.

2) Рассмотрены и охарактеризованы ледостойкие стационарные морские платформы по способу крепления к морскому дну.

3) Описана ледостойкая стационарная морская платформа тетраэдральной формы.

4) Представлены факторы улучшения эксплуатационных и технологических характеристик тетраэдральной ледостойкой стационарной морской платформы.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1 proofoil.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://proofoil.ru/Seaoilproduction/fixedplatform.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.

2 helpiks.org [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://helpiks.org/3-91256.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.

3 Ильина, С. В. Проблемы при выборе типа морской стационарной платформы для работы в ледовых условиях / С. В. Ильина // Технические науки в России и за рубежом: материалы междунар. заоч. науч. конф. – М.: Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 86-91.

4 Пат. РФ № 2421572. Морская ледостойкая стационарная платформа / Н. А. Тарануха, С. В. Ильина, Н. И. Уваров; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «КнАГТУ»; заявл. 02.02.2010; опубл. 20.06.2011.

5 Ильина, С. В. Тетраэдральная форма кессона морской ледостойкой стационарной платформы / С. В. Ильина // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Изд-во «Грамота», 2013. – С. 83-84.