

# Анализ эксплуатационных качеств и выбор главных размерений технологических платформ типа BUOY

К.Г. Бережной

магистр, инженер 1 категории<sup>1</sup>, соискатель<sup>2</sup>  
[berezhnoik@mail.ru](mailto:berezhnoik@mail.ru)

<sup>1</sup>ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>кафедра «Океанотехника и морские технологии», СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия

**Статья содержит анализ эксплуатационных качеств нефтегазодобывающих и буровых платформ типа BUOY, особенности формы корпуса для различных природных условий. Кроме того, в статье приведены результаты исследований возможности использования таких плавучих сооружений в замерзающих морях, которые включают в себя выявление их лимитирующих компонент, а также расчетную оценку предельных значений параметров рассматриваемых компонент.**

## Материалы и методы

Результаты исследования применимости цилиндрических платформ в условиях замерзающих морей.

## Ключевые слова

круглогодичная эксплуатация, глубоководные шельфовые месторождения, замерзающие моря, платформа цилиндрической формы корпуса

Разработка глубоководных шельфовых месторождений ведется плавучими объектами различной формы корпуса, среди которых можно выделить несколько основных типов (таб. 1).

Цель работы — исследование платформ типа BUOY, которые являются перспективными объектами океанотехники для разработки шельфовых месторождений.

Особенности данного типа состоят в том, что корпус платформы представляет собой цилиндрическо-коническое тело, чей диаметр больше высоты (в отличие от Spar). В качестве прототипа для данного типа платформ можно привести пример «поповок», использовавшихся в конце XIX века броненосцев цилиндрической формы корпуса. Из опыта эксплуатации «поповок» как маневренных объектов следует, что суда не достигали требуемой скорости хода при постоянных перегрузках главных двигателей, потребляли много топлива, из-за малой осадки появлялся слеминг, но вместе с тем имели хорошие показатели качки на волнении [1, 2]. Использование подобных объектов, как закоренных на точке, лишает их недостатков, касающихся ходовых характеристик, и позволяет использовать преимущества в поведении на волнении.

За последние десятилетия компаниями Aker Solutions, Sevan Marine, Oceanica были предложены концепции технологических и буровых платформ цилиндрической формы корпуса [3, 4, 5, 7]. Практическую реализацию получили платформы Sevan Marine. Во всех корпусах платформ применяются

решения, описанные в патенте на платформу для бурения и/или добычи углеводородов [6]. Их корпус разработан в форме вертикального цилиндра. В сечении по диаметральной плоскости в корпусе платформы можно выделить 3 секции (рис. 1):

- Нижняя секция — снижение амплитуд вертикальной качки за счет вовлечения дополнительных присоединенных масс воды.
- Средняя секция — основной корпус.
- Верхняя секция — волновой дефлектор.

Технологические платформы данной формы корпуса выполнены с внутренними нефтехранилищами объемом от 40 до 150 тыс. м<sup>3</sup>. Это является преимуществом перед полупогружными платформами и TLP, которые не имеют нефтехранилищ (таб.1). Нефтехранилище можно организовать на платформах типа Spar и судовой формы корпуса. Однако платформы Spar эксплуатируются на глубине моря от 500 м, тогда как платформы BUOY работают на глубинах от 120 до 3000 м [4]. Кроме того, установка Spar на месторождении — сложная и продолжительная операция, что вызывает дополнительные трудности для морей с ограниченным навигационным периодом.

Основное преимущество платформ типа BUOY перед судовой формой корпуса состоит в том, что величина нагрузки от внешних воздействий на корпус не зависит от направления их воздействия. По этой причине нет необходимости в сложном и дорогостоящем турельном устройстве, которое установлено на платформах судовой формы корпуса и

Тип платформы	Кол-во платформ	Выполняемые функции
Полупогружная платформа	50	• бурение; • добыча.
Платформа типа TLP (Tension Leg Platform)	24	
Платформа типа Spar	20	• бурение; • добыча;
Платформа судовой формы корпуса	260 <sup>(1)</sup>	• хранения; • отгрузка.
Платформа типа BUOY	11	

(<sup>1</sup>) — в том числе платформы FSO, FPSO, FPDSO

Таб. 1 — Типы плавучих платформ для разработки глубоководных месторождений углеводородов

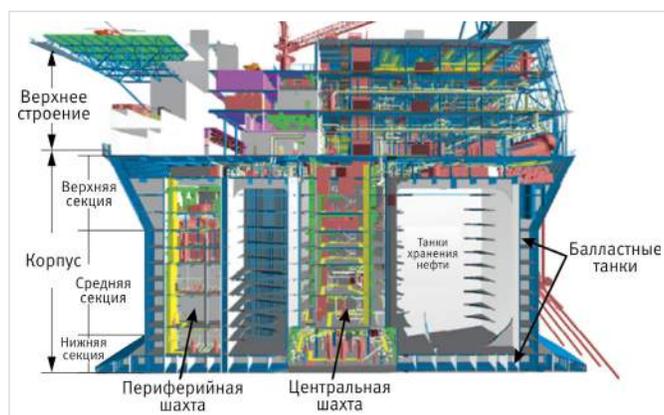


Рис. 1 — Секции корпуса платформы [4]

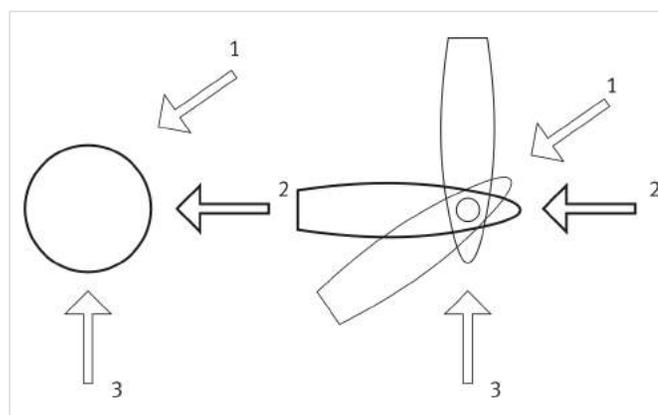


Рис. 2 — Преимущества платформы типа BUOY перед платформой судовой формы корпуса

предназначено для обеспечения вращения вокруг точки закоренения. Указанное обеспечивает наиболее благоприятное положение относительно внешнего воздействия (рис 2), где цифрами 1–3 обозначены направления действия нагрузок.

Цилиндрическая форма корпуса также дает преимущества при проектировании трубопроводов общесудовых систем: их длина значительно меньше, чем на платформах судового типа. Кроме этого, основная часть трубопроводов балластной и грузовой систем располагается в центральной шахте, а не в резервуарах. Это обеспечивает постоянный доступ для их осмотра и технического обслуживания.

Стоит отметить, что данный тип платформ, при наличии некоторых конструктивных особенностей, может противостоять ледовым образованиям в виде ледяных полей с торосами. В качестве примера можно привести концепцию платформы, выдвинутой Sevaп Магiпе для глубоководных месторождений замерзающих морей (Штокмановское газоконденсатное месторождение) (рис. 3) [4].

Для такой платформы предусматривается наличие 2 осадок:

- осадка летняя для эксплуатации на чистой воде — уровень ватерлинии проходит по прямостенной цилиндрической части корпуса;
- осадка ледовая — уровень ватерлинии проходит по наклонной конической части корпуса (угол наклона к ватерлинии около 45°), при этом ломка льда происходит вследствие изгиба вниз.

Для достижения осадки ледовой, которая больше осадки летней, в корпусе, помимо бортовых и днищевых цистерн изолированного балласта, предусмотрены дополнительные балластные цистерны.

Платформа снабжена отсоединяемым спайдерным бумом, к которому крепятся якорные линии, райзеры и шлангокабели. Бум крепится в специальной нише в днище платформы. Отсоединение необходимо на случай возможного столкновения с критическими ледяными образованиями, в первую очередь айсбергами.

Платформа имеет восемь полноповоротных винторулевых колонок, расположенных в днищевой части. Это обеспечивает самостоятельное маневрирование и динамическое позиционирование.

В ФГУП «Крыловский государственный научный центр» за последние годы были проведены исследования различных платформ,

в том числе и типа BUOY. Результаты этих исследований также подтверждают возможность применения платформ типа BUOY в тяжелых условиях глубоководного шельфа арктических морей в качестве добычных сооружений [7].

В итоге можно заключить, что платформы типа BUOY выгодно отличаются от остальных типов (таб. 1) следующими особенностями:

- независимость от направления внешнего воздействия (отсутствие турельного устройства);
- умеренные показатели качки;
- возможность организации хранения добытого продукта в корпусе;
- возможность функционирования в широком диапазоне глубин.

В качестве подтверждения вышесказанного, ниже приведены результаты исследований возможности использования плавучих технологических платформ типа BUOY в замерзающих морях (без угрозы столкновения с айсбергами), которые включают в себя выявление первоочередных ограничивающих подсистем, а также расчетную оценку предельных значений этих параметров. Прежде всего, это система удержания и габаритные размеры корпуса платформы.

В расчете приняты следующие основные значения природно-климатических параметров:

- минимальная температура воздуха — до -40°C;
- глубина воды — 150–400 м;
- толщина ровного однолетнего льда — до 2,0 м;
- глубина кия тороса — до 25 м;
- скорость дрейфа льда — 1,0–1,5 м/с.

#### Ограничивающие факторы

**Система удержания** является ключевой компонентой, обеспечивающей безопасную эксплуатацию платформы. Основное назначение — удержание сооружения на точке эксплуатации с ограничением смещений в допустимых пределах и обеспечением нормальных условий для выполнения технологических процессов. Для расчета принято, что система удержания платформы типа BUOY — якорная. Якорные линии крепятся непосредственно к корпусу платформы, либо к отсоединяемому устройству (спайдерному бую).

#### Габариты платформы и технологического комплекса

Рассматриваются следующие основные габариты платформ:

- максимальный диаметр — ( $D_{MAX}$ );
- диаметр по ватерлинии — ( $D_{WL}$ );
- высота корпуса — ( $H_{MAX}$ ).

Данные параметры относятся к лимитирующим подсистемам платформ по нескольким причинам:

- допустимый уровень глобальной ледовой нагрузки на сооружение прямо пропорционально зависит от диаметра по ватерлинии, значение которого нужно минимизировать;
- возможность постройки на существующих мощностях судостроительных заводов;
- шириной и глубиной морских путей, по которым будет осуществляться транспортировка платформы от места постройки к месторождению, а также габаритной высотой ( $H_{MAX}$ ), если имеется ограничение по этому параметру на маршруте.

Габариты технологической платформы типа BUOY определяются множеством факторов, но прежде всего ее назначением, например, наличием/отсутствием (FPSO/FPU) в корпусе хранилища углеводородов.

Габариты технологического комплекса относятся к критическим составляющим эксплуатационной системы платформы, в первую очередь, для FPU. Возможность размещения оборудования определяет максимальный диаметр палубы. Помимо технологического комплекса на платформе необходимо разместить общесудовое и энергетическое оборудование, а также жилой модуль.

Для FPSO типа BUOY габариты платформы, в первую очередь, определяет выбранный объем нефтехранилища. С учетом рациональной периодичности отгрузки нефти, диаметр платформы FPSO с большей долей вероятности позволит разместить на палубах все требуемое оборудование, следовательно, размещение оборудования не является решающим фактором при определении размеров корпуса для платформ FPSO.

#### Оценка предельных значений параметров

##### Система удержания

В состав расчетной якорной системы удержания входит 4 пучка якорных связей по 6 связей в каждом пучке. Углы между связями одного пучка составляют 4°. Свободные сектора между пучками используются для размещения райзеров и шлангокабелей. Держащая сила такой системы определена расчетным путем в программном комплексе «Anchored Structures» для глубин моря 150, 250 и 350 м с различными коэффициентами запаса (рис. 4). Коэффициенты запаса по

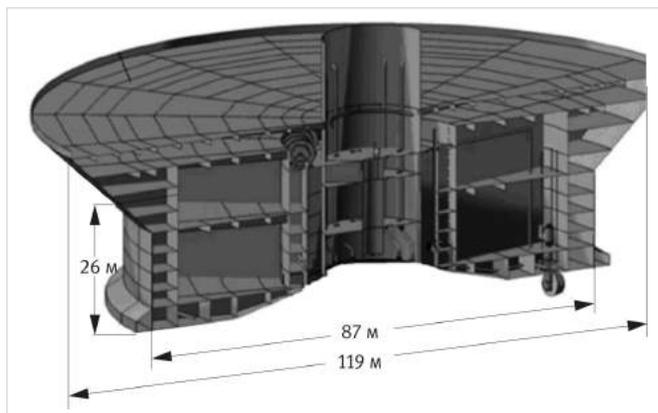


Рис. 3 — Концепция ледостойкой платформы [4]

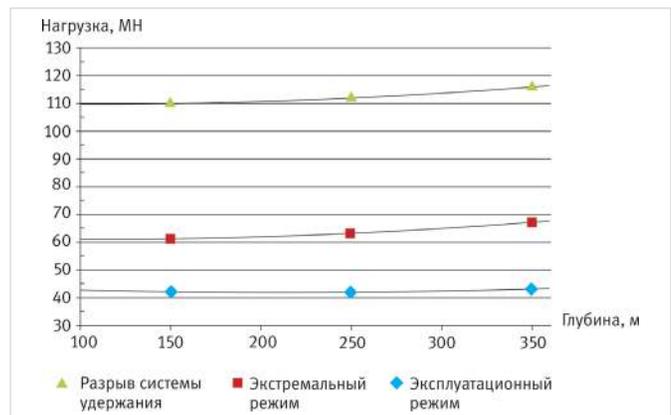


Рис. 4 — Нагрузки на систему удержания

нагрузке приняты следующими:

- режим эксплуатационный — 2,7;
- режим экстремальный — 1,8;
- разрыв якорных линий — 1.

Разрывные усилия на глубинах 150, 250 и 350 м составляют 110, 112 и 116 МН соответственно. Минимальная нагрузка при экстремальном режиме составляет около 60 МН и принимается за расчетную.

#### Габариты и форма корпуса платформ типа BUOY

Для определения максимального диаметра ( $D_{MAX}$  — по технологической палубе) платформы типа FPU статистика составлена на основе анализа технологических комплексов платформ типа Spag без функции хранения углеводородов [8]. Площадь и масса комплекса зависит от объема, добытого в сутки продукта. Поэтому за удельные показатели технологического комплекса для предварительной оценки, были приняты зависимости (для добычи до 25 тыс. м<sup>3</sup>/сут):

$$S = 0,5 * (V_{gas} + V_{oil}), \text{ м}^2$$

$$M = 0,65 * (V_{gas} + V_{oil}), \text{ т}$$

где:  $V_{gas}$  — максимальный объем добываемого газа, тыс. м. куб./сутки;

$V_{oil}$  — максимальный объем добываемой нефти, м<sup>3</sup>/сутки.

К полученным значениям площади и массы следует добавить запас на неопределенность и винтаризацию оборудования по 10% [9].

Так, при добыче нефти 15 тыс. м<sup>3</sup>/сутки и газа 1 млн м<sup>3</sup>/сутки требуемая площадь для технологического комплекса составляет 9 600 м<sup>2</sup>, а масса — 12870 т.

Для определения диаметра по ватерлинии ( $D_{wl}$ ) рассмотрим корпус платформы, которая имеет цилиндрическую часть (1 на рис. 5) и коническую ледорезную часть, по которой проходит уровень ватерлинии (2 на рис. 5). Коническая часть определяет основной вид разрушения полей ровного льда при контакте с корпусом — ломка вследствие изгиба ледяного покрова вниз [10].

Расчеты ледовой нагрузки на проектируемую платформу выполнены применительно к различным углам наклона конической части к горизонтальной плоскости. Ледовая нагрузка на конический ледорез при разрушении поля ровного льда изгибом определяется в соответствии с правилами РС [11]. Результаты расчета представлены на рис. 6.

Анализ полученных графиков позволяет выбрать угол наклона конусной части к горизонтальной плоскости близкий к 30°. Нагрузки на якорную систему удержания, в первую очередь вызванные глобальной горизонтальной нагрузкой, в этом случае возрастают незначительно по сравнению с углом конусности в 20°, а больший угол увеличивает отвесность конусной части, что снижает возможность наползания ледяных обломков на палубу.

Определив угол конусности в 30°, далее расчет ведется методом подбора наибольшего диаметра по ватерлинии, при котором нагрузки от расчетных ледяных образований не превосходят принятой расчетной нагрузки на якорную систему удержания (60 МН, рис. 4).

Глобальная нагрузка от торосистых образований определена в соответствии с правилами РС [11]. Результаты расчета представлены на рис. 7.

Анализ приведенного графика показывает, что максимально допустимый диаметр платформы типа BUOY по ватерлинии равен 80 м (рис. 7). При дальнейшем его увеличении система удержания платформы не обеспечивает надежной и безопасной эксплуатации. Диаметр нижерасположенной цилиндрической части можно принять  $0,8(D_{wl})=64\text{ м}$ , расстояние от цилиндрической части до ватерлинии около 5 м, осадку 30 м, что больше осадки килей торосов и их обломки, как предполагается, не попадут под днище платформы.

Надводный борт платформы определяется согласно [11]. Из приведенных ниже формул принимается наибольшее значение:

$$H_1 = 0,6h_{50} + \Delta_{50} + 1,5;$$

$$H_2 = \Delta_{100} + 1,2(D/\lambda_{100})^{(1/4)} h_{100} + 1,5;$$

$$H_3 = 4h_{\text{рап100}} + \Delta_{100} + 0,5.$$

где:  $h_{50}$  — высота волны, возможная 1 раз в 50 лет, принято  $h_{50} = 18,4\text{ м}$ ;

$\Delta_{100}$  и  $\Delta_{50}$  — максимальные амплитуды изменения уровня моря, возможные 1 раз в 100 и 50 лет, в расчетах принято  $\Delta_{100} = 1,044\text{ м}$ ;

$h_{100}$  — высота волны, возможная 1 раз в 100 лет, в расчетах принято  $h_{100} = 20,7\text{ м}$ ;

$\lambda_{100}$  — длина волны, возможная 1 раз в 100 лет, в расчетах принято  $\lambda_{100} = 426\text{ м}$ ;

$D$  — поперечный размер платформы на уровне ватерлинии,  $D = 80\text{ м}$ ;

$h_{\text{рап100}}$  — толщина наслоенного льда, возможная 1 раз в 100 лет, в расчетах принято  $h_{\text{рап100}} = 3\text{ м}$ .

При полученных значениях ( $H_1 \approx 13,6$ ;  $H_2 \approx 18,9$ ;  $H_3 \approx 13,5$ ), высота надводного борта принимается равной 19 м.

По предварительным оценкам, необходимая площадь для размещения

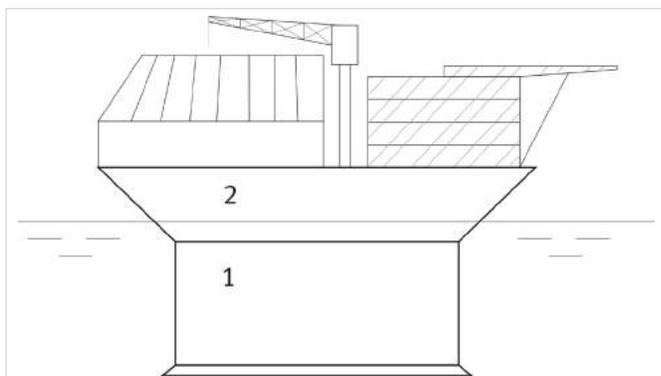


Рис. 5 — Ледостойкая платформа типа BUOY [4]

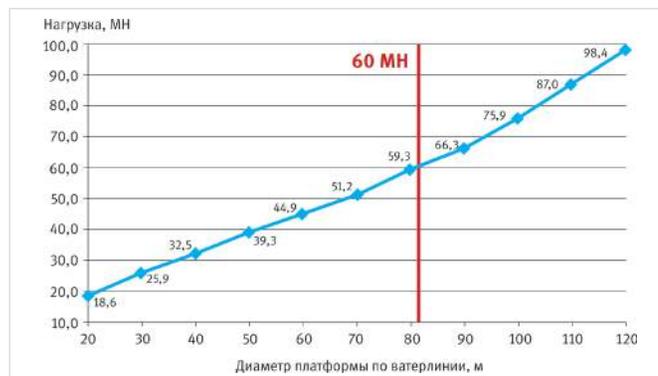


Рис. 7 — Зависимость ледовых нагрузок от диаметра платформы

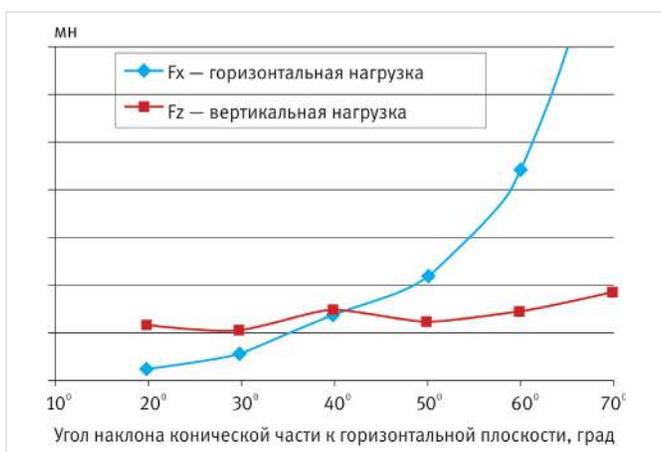


Рис. 6 — Графическое представление нагрузок

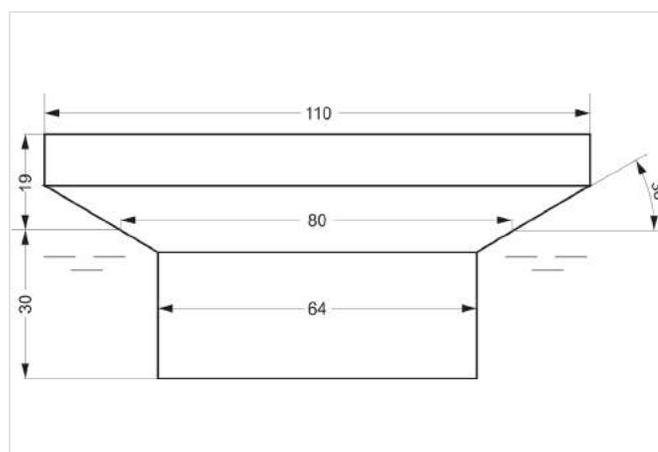


Рис. 8 — Эскиз корпуса технологической платформы

технологического комплекса оценивается в 9600 м<sup>2</sup>. При расположении этого оборудования на двух технологических палубах потребуется 4800 м<sup>2</sup>. Для обеспечения безопасного расположения жилого модуля, энергетической установки и прочего оборудования необходимая площадь палубы составит около 7000 м<sup>2</sup>, соответственно, диаметр по палубе составит около 100 м. С учетом необходимых конструкций корпуса принимаем  $D_{\max}=110\text{м}$  (рис.8).

### Итоги

Выполнены исследования принципиального вида морской платформы цилиндрической формы корпуса и определены значения ограничивающих компонент.

### Выводы

На основании выполненных исследований можно констатировать, что технологические платформы типа BUOY могут быть признаны пригодными для круглогодичной эксплуатации на глубоководных месторождениях замерзающих морей. Основной лимитирующей компонентой эксплуатационной платформы является система удержания. С учетом вышесказанного, все же для обеспечения

безопасной эксплуатации рекомендуется, чтобы платформа имела возможность отсоединения от якорной системы удержания, в случае воздействия на нее критических ледяных образований, нагрузка от которых превышает допустимую.

### Список используемой литературы

1. Андриенко В.Г. *Круглые суда адмирала Попова*. СПб: Гангут, 1994. 44 с.
2. Крылов А.Н. *Мои воспоминания*. СПб: Политехника, 2003. 510 с.
3. MonoBR / MonoBR-GoM (Petrobras). Режим доступа: <http://oceanicabr.com/en/projects/monobr-monobr-gom/> (Дата обращения 21.04.2015)
4. <http://www.sevanmarine.com/projects/floating-production> (дата обращения 21.04.2015).
5. Conquering deep water frontiers. <http://www.akersolutions.com/Global/EDandS/akersolutions-floaters.pdf> (дата обращения 21.04.2015)
6. Патент International Publication Number WO 2009/136799 A1, 2009
7. Агафонов А.А., Вербицкий С.В., Зимин А.Д., Тимофеев О.Я., Шинкаренко О.В. Концептуальные

решения в обеспечение разработки плавучей платформы с оригинальной формой корпуса для арктического шельфа России. Сборник трудов 11-ой международной конференции RAO/CIS OFFSHORE 2013. СПб: Химиздат, 2013.

8. <http://downloads.pennnet.com/os/posters/0109-spars-poster.pdf> (дата обращения 21.04.2015).
9. Вербицкий С.В., Чеснокова И.Г. К вопросу об оценке веса верхних строений морских технологических платформ. Труды ФГУП Крыловский государственный научный центр, выпуск 70 (354), Санкт-Петербург, 2012
10. Агафонов А.А., Бережной К.Г., Вербицкий С.В., Зимин А.Д., Шинкаренко О.В. Морская плавучая платформа для нефтяных месторождений российской Арктики. Труды ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, 2014.
11. Российский Морской Регистр Судоходства Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ, 2014.

ENGLISH

OIL PRODUCTION

## Analysis of the performance and the choice of the main dimensions of technology platforms such as BUOY

UDC 622.276

### Author:

Konstantin G. Bereznoi — master, marine engineer<sup>1</sup>, postgraduate<sup>2</sup>; [bereznoi@mail.ru](mailto:bereznoi@mail.ru)

<sup>1</sup>Krylov state research centre, postgraduate, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>SPbSMTU, St. Petersburg, Russian Federation

### Abstract

The article analyzes operational capability of oil- and gas-producing and drilling platforms and the platform BUOY-type, feature of hulls forms for different environmental conditions to the creation of technological platforms of this type. Additionally, the article presents the study's results of using such floating structures in freezing seas, which include the identification of the limiting component, for example an estimate of the parameters limiting values.

### Materials and methods

The study results of use cylindrical platforms in freezing seas conditions.

### Results

The studies were carried out of regarding cylindrical types of marine platform and the values of limiting component.

### Conclusions

The basis of the research we can state that technology platforms such as BUOY may be use for year-round operation on deepwater

freezing seas. The main limiting component production of platform is system retention. Considering on this fact at the same time to ensure safe operation the platform is recommended to have possibility to disconnect from anchor system when it has influence of critical ice formation which loads exceeds permissible value.

### Keywords

year-round operation, deepwater fields, freezing seas, the platform of the cylindrical shape of the hull

### References

1. Andrienko V.G. *Kruglye suda admirala Popova* [Round vessels by admiral Popov]. SPb: *Gangut*, 1994, 44 p.
2. Krylov A.N. *Moi vospominaniya* [My memories]. SPb: *Politekhnika*, 2003, 510 p.
3. MonoBR / MonoBR-GoM (Petrobras) Available at: <http://oceanicabr.com/en/projects/monobr-monobr-gom/> (accessed date 21 April 2015)
4. <http://www.sevanmarine.com/projects/floating-production> (accessed date 21 April 2015)
5. Conquering deep water frontiers. <http://www.akersolutions.com/Global/EDandS/akersolutions-floaters.pdf> (accessed date 21 April 2015)
6. Patent International Publication Number WO 2009/136799 A1, 2009
7. Agafonov A.A., Verbitskiy S.V., Zimin A.D., Timofeev O.Ya., Shinkarenko O.V. *Kontseptual'nye resheniya v obespechenie razrabotki plavuchey platformy s original'noy formoy korpusa dlya arkticheskogo shel'fa Rossii* [Conceptual solutions for development floating platform with the original form of hull for the Russian Arctic shelf]. Proceedings of the 11th international conference RAO / CIS OFFSHORE 2013. St-Petersburg: *Khimizdat*, 2013.
8. <http://downloads.pennnet.com/os/posters/0109-spars-poster.pdf> (accessed date 21 April 2015)
9. Verbitskiy S.V., Chesnokova I.G. *K voprosu ob otsenke vesa verkhnikh stroeniy morskikh tekhnologicheskikh platform* [An estimate of the weight for the topsides offshore technology platforms]. Proceedings of the Krylov State Research Center. Issue 70 (354), St-Petersburg, 2012
10. Agafonov A.A., Bereznoi K.G., Verbitskiy S.V., Zimin A.D., Shinkarenko O.V. *Morskaya plavuchaya platforma dlya neftnyanykh mestorozhdeniy rossiyskoy Arktiki* [Marine floating platform for oil fields in the Russian Arctic], Proceedings of the Krylov State Research Center, St. Petersburg, 2014.
11. Russian Maritime Register of Shipping Classification, construction and equipment of mobile offshore drilling units and fixed offshore platforms, 2014.