

STRUCTURAL SOLUTIONS ANALYSIS OF THE OCEAN TECHNOLOGY PASSIVE POSITIONING (Status and General Trends)

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПАССИВНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОКЕАНОТЕХНИКИ (Состояние и общие тенденции развития)

Borys A. Buhaienko

boris.bugaenko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1811-3543

Anatoliy F. Gal

anatolij.gal@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-1888-5962

Ihor S. Shilin

shilin_91@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8807-8093

Hanna Yu. Haidai

ganna.andreychykova@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2618-0391

Б. А. Бугаенко,

д-р техн. наук, проф.;

А. Ф. Галь,

канд. техн. наук, проф. НУК;

И. С. Шилин,

асп.;

А. Ю. Гайдай,

канд. техн. наук, доц.

National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Abstract. The usage of the multi-anchor positioning systems on the floating objects of ocean technology, operating in the deep waters of World Ocean, is discussed. The research aim is to define the development trends of the modern passive positioning systems of the deep water drilling platforms and development of the analytical dependences of the anchor mooring systems parameters on the drilling riser size and the water depth in their operation area. The statistical analysis of the technical characteristics of the passive positioning systems of the deep water drilling units is carried out. The analytical dependences of the drilling units parameters on the sea depth in the area of their installation are obtained. The research results can be applied in the design of ships and marine offshore structures, held in the operation area by the multi-anchor systems. The obtained analytical equations allow determining the approximate values of the passive positioning systems parameters, depending on the given sea depth in the location area of marine floating object.

Keywords: offshore drilling unit, platform, anchor mooring system, anchor connections, MODU structural parameters.

Аннотация. Выполнен анализ основных параметров конструкций современных якорных систем технических средств освоения Мирового океана (в основном ППБУ) за последние десятилетия. Выведены аналитические зависимости основных параметров якорной системы удержания ППБУ от глубины моря в месте ее установки.

Ключевые слова: плавучая буровая морская установка, платформа, якорная система удержания, якорные связи, параметры конструкций ППБУ.

Анотація. Виконано аналіз основних параметрів конструкцій сучасних якірних систем технічних засобів освоєння Світового океану (в основному ППБУ) за останні десятиліття. Виведені аналітичні залежності основних параметрів якірної системи утримання ППБУ від глибини моря в місці її установки.

Ключові слова: плавуча бурова морська установка, платформа, якірна система утримання, якірні зв'язки, параметри конструкцій ППБУ.

REFERENCES

- [1] Andreychikova A.Yu. Analiz yakornykh sistem tekhnicheskikh sredstv osvoeniya Mirovogo okeana [Analysis of marine technology anchor systems]. *Zb. nauk. prats NUK* [Collection of scientific papers of NUOS]. Mykolayiv, NUOS Publ., 2007, issue 6, pp. 45–52.
- [2] Andreev V.A., Fedotov Yu.D. *Okeanotekhnika proshlogo i nastoyashchego* [Ocean engineering, past and present]. Sevastopol, Kruchinin L.Yu. Publ., 2007. 256 p.

- [3] Bugaenko B.A., Gal A.F., Farionova T.A. Passivnye sistemy pozitsionirovaniya tekhnicheskikh sredstv okeanotekhniki (analiz i tendentsii razvitiya) [Passive positioning systems of ocean engineering objects (analysis and development trends)]. *Zb. nauk. prats NUK* [Collection of scientific papers of NUOS]. Mykolayiv, NUOS Publ., 2006, issue 2, pp. 22–31.
- [4] Bugaenko B.A., Gal A.F. *Plavuchie sooruzheniya okeanotekhniki* [Floating structures of ocean technology]. Nikolaev, NUOS Publ., 2011. 228 p.
- [5] Bugaenko B.A., Andreychikova A.Yu. Zhestkost sostavnykh yakornykh kanatov i kanatov s promezhutochnym podveshennym gruzom [Stiffness of composite anchor ropes and cables with intermediate suspended load]. *Zb. nauk. prats NUK* [Collection of scientific papers of NUOS]. Mykolayiv, NUOS Publ., 2008, issue 7, pp. 23–30.
- [6] Kulmach P.P. *Yakornye sistemy uderzhaniya plavuchikh obektov* [Anchor systems of floating objects]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1980. 336 p.
- [7] Simakov G.V., Shkhinek K.N., Smelov V.A. *Morskie gidrotekhnicheskie sooruzheniya na kontinentalnom shelfe* [Marine hydro technical structures on continental shelf]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1989. 328 p.
- [8] Petrov Yu.P., Chervyakov V.V. *Sistemy stabilizatsii burovyykh sudov* [Stabilization systems of drill ships]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 216 p.
- [9] *Pravila klassifikatsii, postroyki i oborudovaniya plavuchikh burovyykh ustanovok i morskikh statsionarnykh platform. Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva* [Classification rules, construction and equipment of floating drilling units and fixed offshore platforms. Russian Maritime Register of Shipping]. Saint Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping Publ., 2008. 481 p.
- [10] Simonenko A.S. *Ustroystvo plavuchikh burovyykh ustanovok* [Floating drilling units construction]. Saint Petersburg, SMTU Publ., 1994. 370 p.
- [11] Yard positioning itself for deep water finds. *Offshore Marine Technology. Keppel Global Solutions*, 2006, issue 3, pp. 12–17.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Особое место в освоении континентального шельфа занимают полупогружаемые плавучие буровые установки (ППБУ) для бурения и эксплуатации морских скважин в глубоководных районах [1–4]. По мнению некоторых специалистов, более 60 % объема морской техники приходится на ППБУ [2, 3]. Снижение добычи нефти и газа в районах морей с малой глубиной требует разработки все более глубоких акваторий.

За последние 40 лет развития морской техники и морских технологий глубина якорной стоянки увеличилась более чем на порядок (с 100 до 3000 м в Мексиканском заливе). К концу 60-х годов прошлого столетия добыча нефти и газа производилась в прибрежной зоне с глубиной моря до 100 м. В 90-е годы интенсивно осваивались также удаленные от берега месторождения (например, в Северном море) с глубиной моря до 300 м. В настоящее время морские плавучие буровые установки используются для добычи нефти и газа в районах с глубиной моря свыше 2000 м и более (Мексиканский залив и у Атлантического побережья Бразилии) [1].

Увеличение глубин моря, на которых проводятся бурение и эксплуатация морских скважин, и их удаленности от берега стало возможным в связи с созданием новых по конструкции морских буровых установок (ППБУ с гибкими натянутыми связями, подводные буровые установки). Особенность конструкции ППБУ состоит в необходимости оснащения их

устройствами удержания над устьем морского стояка. Эффективная эксплуатация морских буровых установок в глубоководных районах требует успешного решения этой задачи [10].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Традиционные системы позиционирования разделяют на два основных типа: пассивные – с использованием якорей и активные – динамические системы позиционирования (с применением гидроакустических систем ориентации и подруливающих устройств).

Пассивная система позиционирования. Якорная система удержания ППБУ проявляет максимальную удерживающую способность при горизонтальном приложении к якорям усилия от тросов или якорных цепей и/или их комбинации. Исходя из практического опыта, длину якорной линии рекомендуют принимать больше глубины акватории в 3–4 раза при безветренной погоде, отсутствии сильных течений и колебаний уровня воды, а при работе в неблагоприятных погодных условиях – в 4–6 раз [10]. Для увеличения эффективности якорной системы рекомендуется к якорному тросу в нескольких метрах от якоря подвешивать специальные массивные грузы до 20 т (или устанавливать между якорем и тросом тяжелую якорную цепь длиной 2...3 м) [5].

Схема расположения якорных связей удержания ППБУ традиционно предполагает использование от

6 до 16 якорных связей (см. [7] и табл. 1) Пассивная система удержания традиционно применяется на буровых судах, специализированных – водолазных (обеспечивающих подводно-технические работы), крановых, кабелеукладчиках, трубоукладчиках, морских полупогружных платформах, ледоколах, добывающих и перерабатывающих судах и платформах, плавучих нефтехранилищах, танкерах, а также судах типа FSO (Floating storage and offloading¹) и типа FPSO (Floating production storage and offloading²).

Одной из важных задач конструктора при проектировании плавучих буровых установок является определение основных параметров якорной системы (длины, калибра якорной цепи, диаметра якорного троса, длины и массы).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – определение тенденций развития современных пассивных систем позиционирования глубоководных буровых платформ и поиск аналитических зависимостей параметров якорных систем удержания от глубины акватории в месте их эксплуатации.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Национальные Правила классификационных обществ [7, 9, 11] требуют обеспечить необходимую жесткость системы удержания, способной ограничить максимальные смещения морского стояка до 7 % от глубины моря.

Анализ мирового опыта строительства подобных сложных систем показывает, что, в отличие от длины, калибр якорной цепи и диаметр якорного троса практически явно не зависят от глубины моря в месте постановки морской буровой платформы.

Современные якорные системы технических средств освоения океана включают в себя следующие элементы: гибкие якорные связи (якорные цепи, канаты стальные тросовые и, реже, из органического или искусственного волокна, их комбинация); анкерные опоры; дополнительные грузы (железобетонные массивы, реже чугунные блоки, подвешиваемые к якорным канатам); рейдовые бочки (буи в виде плавучих стальных емкостей); механизмы и якорные устройства на плавучем объекте [1, 6, 8, 10].

Основные технические характеристики современных буровых платформ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры якорных систем морских платформ

Название установки, страна, год постройки	Количество якорных связей	Глубина моря, м	Главные размерения, м		Размеры связей			
			Диаметр корпуса	Осадка	Цепь		Канат	
					Калибр, мм	Длина, м	Диаметр, мм	Длина, м
Neptune, Россия, 2013	14	580	22	231	120	30	120	750
Genesis, США, 2010	14	790	37	215	133,4	37,18	134	914,4
Marlin, Австралия, 2006	12	988	27	18	123,7	122	124	1850
Gjøa Semisubmersible, Норвегия, 2010	16	360	125**	22	150	216*	134**	864*
Octabuoy Semisubmersible Великобритания, 2009	16	155	125**	231**	127	93*	134**	372*
Goliath FPSO, Норвегия, 2013	14	400	125**	231**	165	240*	134**	960*
DSS 51, Бразилия, 2009	12	3048	125**	231**	76	202,5*	134**	4050
DSS 21, Бразилия, 2008	8	3048	78,5	231**	165**	1828,8	134**	7315,2*
P-52 FPU, Бразилия, 2007	8	1795	125	231**	165**	153*	134**	3060

* Расчетные данные.

** Принято по максимальным значениям соответствующих параметров, аналогичных ППБУ.

В ходе работы были выполнены расчеты массы якорных связей, троса и цепи, полученные данные занесены в табл. 2

Выделим следующие основные тенденции развития якорных систем плавучих средств освоения

океана: увеличение глубины; разработка и использование новых конструкций якорных систем (применение дополнительных грузов и плавучестей); использование якорей с повышенной держащей силой; увеличение диаметра якорных канатов, калибра цепей;

¹Плавучая установка для хранения и выгрузки нефти.

²Плавучая установка для добычи, хранения и выгрузки нефти.

повышение мощности якорных механизмов; автоматизация якорных механизмов; увеличение количества якорных связей.

Анализ статистических данных ППБУ (см. табл. 2) позволил получить уравнения, в которых отражены аналитические зависимости параметров ППБУ от глубины моря в месте их установки. Были исследованы зависимости таких величин,

как калибр цепи ($R_{\text{ц}}$), калибр троса ($R_{\text{т}}$), количество якорных связей (N), $((R_{\text{ц}} + R_{\text{т}})/N)$, осадка ППБУ (T), диаметр корпуса ППБУ (d), масса цепи ($m_{\text{ц}}$), масса троса ($m_{\text{т}}$), масса якорной связи ($m_{\text{я.с}}$), длина цепи ($L_{\text{ц}}$), длина троса ($L_{\text{т}}$), длина якорной связи ($L_{\text{я.с}}$), массы якоря и якорных связей, длины, количество якорных связей, калибр, осадка, диаметр.

Таблица 2. Масса якорных связей морских платформ, кг

Название установки, страна, год постройки	Цепь	Трос	Якорная связь
Neptune, Россия, 2013	306	341	679
Genesis, США, 2010	427	341	679
Marlin, Австралия, 2006	517	341	679
Gjøa Semisubmersible, Норвегия, 2010	273	273	547
Octabuoy Semisubmersible Великобритания, 2009	338	341	679
GoliatFPSO, Норвегия, 2013	291	292	583
DSS 51, Бразилия, 2009	517	341	679
DSS 21, Бразилия, 2008	517	341	679
P-52 FPU, Бразилия, 2007	110	341	679

Зависимости N , $(R_{\text{ц}} + R_{\text{т}})/N$, $L_{\text{ц}}$, $L_{\text{т}}$, $L_{\text{я.с}} = f(H)$ имеют максимальные значения достоверности аппроксимации (R^2) и могут быть использованы на ранней стадии проектирования ППБУ при определении параметров пассивных систем удержания над устьем морского стояка.

Они имеют следующий вид:

1. $N = 1E - 06H^2 - 0,0072H + 17,637$; ($R^2 = 0,9397$);
2. $(R_{\text{ц}} + R_{\text{т}})/N = -2E - 06H^2 + 0,0136H + 12,658$; ($R^2 = 0,8484$);
3. $L_{\text{ц}} = 0,0004H^2 - 0,7684H + 372,11$; ($R^2 = 0,968$);
4. $L_{\text{т}} = 0,0006H^2 + 0,4756H + 459,01$; ($R^2 = 0,9904$);
5. $L_{\text{я.с}} = 0,001H^2 - 0,2925H + 831,11$; ($R^2 = 0,9882$).

Из графиков (см. рис. 1 и 2) видно, что с увеличением глубины моря растет потребность в снабжении средствами удержания ППБУ, в увеличении калибра цепи и диаметра каната, увеличении осадки, длины и массы ППБУ.

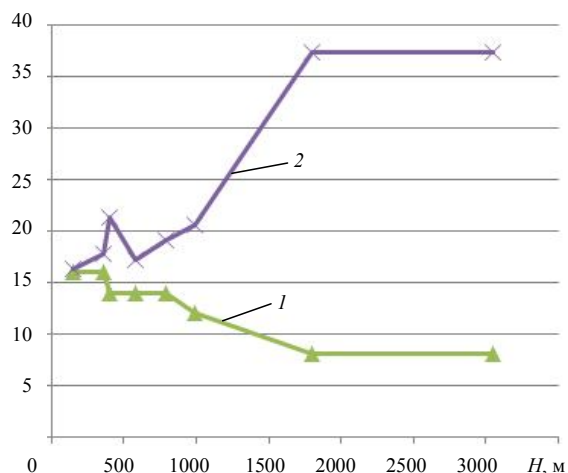


Рис. 1. Зависимости количества якорных связей и $(R_{\text{ц}} + R_{\text{т}})/N$ от глубины моря в районе установки ППБУ: 1 — количество якорных связей N ; 2 — $(R_{\text{ц}} + R_{\text{т}})/N$

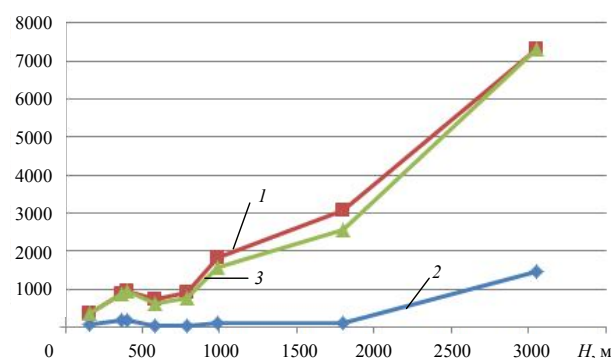


Рис. 2. Зависимости длины якорной связи от глубины моря в районе установки ППБУ: 1 — длина якорной цепи $L_{\text{ц}}$, м; 2 — длина якорного троса $L_{\text{т}}$, м; 3 — длина якорной связи $L_{\text{я.с}}$, м

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа основных параметров конструкции современных зарубежных и отечественных якорных систем удержания плавучих объектов (для глубин моря в районе эксплуатации ППБУ до 3000 м) определены перспективные направления развития и совершенствования пассивных средств их позиционирования, позволившие выявить основные тенденции развития пассивных систем удержания, которые состоят в увеличении глубины моря в месте постановки ППБУ и количества якорных связей, их длины и массы, применении дополнительных грузов и плавучестей.

2. Выведенные аналитические зависимости $R_{\text{ц}}$; $R_{\text{т}}$; N ; $m_{\text{ц}}$; $m_{\text{т}}$; $m_{\text{я.с}}$; $L_{\text{ц}}$; $L_{\text{т}}$; $L_{\text{я.с}} = f(H)$ позволяют определять ориентировочные значения массы якоря и якорных связей, длины и количества якорных линий, их калибра в зависимости от заданной глубины моря в районе постановки ППБУ.

3. Поскольку достоверность аппроксимации зависимостей N ; $(R_{\text{ц}} + R_{\text{т}})/N$; $L_{\text{ц}}; L_{\text{т}}; L_{\text{я.с}} = f(H)$ близка к единице ($R^2 = 0,9397$; $R^2 = 0,8484$; $R^2 = 0,968$; $R^2 = 0,9904$; $R^2 = 0,9882$), можно допустить, что они адекватны реальности и могут быть использованы на первых стадиях проектирования пассивной систем позиционирования временных ППБУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Андрейчикова, А. Ю.** Анализ якорных систем технических средств освоения мирового океана [Текст] / А. Ю. Андрейчикова // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2007. – № 6 (417). – С. 45–52.
- [2] **Андреев, В. А.** Океанотехника прошлого и настоящего [Текст] / В. А. Андреев, Ю. Д. Федотов. – Севастополь : Издатель Л. Ю. Кручинин, 2007. – 256 с.
- [3] **Бугаенко, Б. А.** Пассивные системы позиционирования технических средств океанотехники (анализ и тенденции развития) [Текст] / Б. А. Бугаенко, А. Ф. Галь, Т. А. Фарионова // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2006. – № 2 (407). – С. 22–31.
- [4] **Бугаенко, Б. А.** Плавающие сооружения океанотехники [Текст] : учебное пособие / Б. А. Бугаенко, А. Ф. Галь. – Николаев : НУК, 2011. – 228 с.
- [5] **Бугаенко, Б. А.** Жесткость составных якорных канатов и канатов с промежуточным подвешенным грузом [Текст] / Б. А. Бугаенко, А. Ю. Андрейчикова // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2008. – № 4 (421). – С. 23–30.
- [6] **Кульмач, П. П.** Якорные системы удержания плавучих объектов [Текст] / П. П. Кульмач. – Л. : Судостроение, 1980. – 336 с.
- [7] Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе [Текст] / Г. В. Симаков, К. Н. Шхинек, В. А. Смелов [и др.]. – Л. : Судостроение, 1989. – 328 с.
- [8] **Петров, Ю. П.** Системы стабилизации буровых судов [Текст] / Ю. П. Петров, В. В. Червяков. – Л. : Судостроение, 1985. – 216 с.
- [9] Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. Российский Морской Регистр судоходства. – Введ. 2008-04-30. – СПб. : Российский Морской Регистр судоходства, 2008. – 481 с.
- [10] **Симоненко, А. С.** Устройство плавучих буровых установок [Текст] : учебник для вузов / А. С. Симоненко. – СПб. : ГМТУ, 1994. – 370 с.
- [11] Keppel Global Solutions. Yard positioning itself for deepwater finds. Offshore Marine Technology. – Keppel Global Solutions, 2006. – Iss. 3. – P. 12–17.

© Б. А. Бугаенко, А. Ф. Галь, І. С. Шилін, Г. Ю. Гайдай

Надійшла до редколегії 31.03.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов