

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.406-422>

УДК 622.242.4

Преимущества подводного освоения месторождений

¹Бобов Д.Г., ²Гусейнов Ч.С.

¹ФГАОУВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», Москва, Россия

²ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, Москва, Россия

Advantages of underwater development of fields

¹D.G. Bobov, ²Ch.S. Guseynov

²National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia

²Oil and gas research Institute RAS, Moscow, Russia

E-mail: dmitry_bobov@mail.ru

Аннотация. Настоящее исследование нацелено показать преимущество подводных аппаратов по сравнению с традиционными платформами с точки зрения материалоемкости, размеров и нагрузок. Для этого выполнен анализ существующих гравитационных сооружений, эксплуатируемых в ледовых условиях и на шельфе Норвежского моря. На основании выполненного анализа проведено моделирование гравитационных оснований для глубин от 20 до 260 м с учетом внешних нагрузок и выполнения условия устойчивости грунтового основания. Проведено моделирование корпуса подводного бурового аппарата и выполнен прочностной расчёт корпуса сооружения от действия гидростатического давления на глубине 200 м. Полученные результаты толщин стенок набора корпуса подводного аппарата говорят о возможности изготовления подобного сооружения. Полученные в результате моделирования данные позволили сравнить массу, габариты и нагрузки на подводные и надводные сооружения. Полученные выводы говорят, что применение подводных аппаратов для освоения глубоководных месторождений в Арктике предпочтительнее традиционных морских платформ.

Ключевые слова: подводный буровой аппарат; преимущества подводного освоения; сравнение вариантов освоения месторождений; моделирование гравитационных оснований

Для цитирования: Бобов Д.Г., Гусейнов Ч.С. Преимущества подводного освоения месторождений//Нефтяная провинция.-2021.-№4(28).-Часть 2.-С.406-422. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.406-422>

Abstract. The present study aims to show the advantage of underwater vehicles compared to traditional platforms in terms of material consumption, size and loads. For this pur-

pose, the analysis of existing gravity structures operated in ice conditions and on the shelf of the Norwegian Sea was carried out. Based on the performed analysis, the modeling of gravity bases for depths from 20 to 260 m was carried out, taking into account external loads and the fulfillment of the condition of stability of the soil base. The modeling of the hull of an underwater drilling rig was carried out and the strength calculation of the hull of the structure from the action of hydrostatic pressure at a depth of 200 m was performed. The obtained results of the wall thicknesses of the underwater vehicle hull set indicate the possibility of manufacturing such a structure. The data obtained as a result of modeling made it possible to compare the mass, dimensions and loads on underwater and surface structures. The findings suggest that the use of underwater vehicles for the development of deep-sea deposits in the Arctic is preferable to traditional offshore platforms.

Key words: *underwater drilling rig; advantages of underwater development; comparison of different types of development; GBS modeling; modeling of underwater drilling unit.*

For citation: D.G. Bobov, Ch.S. Guseynov Preimushhestva podvodnogo osvoenija mestorozhdenij [Advantages of underwater development of fields]. Neftyanaya Provintsia, No. 4(28), Part 2, 2021. pp. 406-422. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.3.406-422> (in Russian)

Введение

В морях, акватории которых полностью покрыты льдом в зимний период, устанавливают надёжные традиционные ледостойкие стационарные морские платформы на глубинах до 55 м [1, 2]. Если акватория моря в зимний период остаётся открытой, а ледовые поля или айсберги появляются редко, глубина установки традиционных платформ увеличивается до 95 м [3]. Но в Норвежском море проводят монтаж стационарных платформ с гравитационным основанием на глубинах до 250 м [4, 5]. Это возможно ввиду отсутствия ледовых полей, которые не допускаются в Норвежское море благодаря Северо-атлантическому тепловому течению, которое является продолжением Гольфстрима и проходит вдоль Норвежского побережья [6].

В Арктике существует много месторождений с глубинами моря свыше 100 м. К ним можно отнести такие месторождения как Штокмановское и Лудловское в Баренцевом море и др. Обустройство подобных месторождений традиционными стационарными гравитационными платформами не целесообразно, иначе месторождения подобных запасов давно

были бы обустроены. Это связано с тяжелой ледовой обстановкой и возможными столкновениями с айсбергами. Однако мы полагаем, что освоение упомянутых месторождений возможно при помощи подводных аппаратов (буровых и эксплуатационных).

И цель настоящего исследования – показать преимущество подводных аппаратов по сравнению с традиционными платформами с точки зрения материалоемкости.

Задачи исследования:

1. Провести анализ подходящих гравитационных сооружений;
2. Разработать модели опорных оснований гравитационных сооружений в интервале глубин от 20 до 260 м с шагом 20 м с учетом нагрузок от внешних воздействий;
3. Разработать модель подводного бурового аппарата;
4. Провести прочностной расчёт корпуса аппарата в первом приближении;
5. Сравнить полученные габаритные размеры, массы и нагрузки гравитационных сооружений и подводных аппаратов.

Выбранные параметры сравнения позволят в цифровом выражении показать разницу между сопоставляемыми сооружениями. А такие параметры как технологичность и новизна, существующие мощности строительства и др. будут учтены в последующих работах.

Моделирование сооружений гравитационного типа

Для анализа в качестве традиционных платформ приняты сооружения гравитационного типа. В табл. 1 представлены эксплуатируемые традиционные сооружения [4, 5].

На основании выполненного анализа построенных традиционных платформ, выполнено моделирование гравитационных оснований для интервала глубин от 20 до 140 м с шагом в 20 м.

Таблица 1

Платформы с гравитационным основанием

№ п/п	Платформа/месторождение/ акватория	Глубина моря, м	Общая высота, м	Масса ОБ, тыс.т	Масса ВС, тыс.т	Общая масса, тыс.т	Год ввода
1	Лунская-А / Лунское газовое / о. Сахалин	48	152	102,6	30,4	133	2006
2	Пильтун-Астохская-Б / Пильтун-астохское нефтяное месторождение / о. Сахалин	32	121	91	28	119	2007
3	Моликпак / Пильтун-астохское нефтяное месторождение / о. Сахалин	30	116,7	35,1	19,6	54,7 (332,7 с балластом)	1998
4	Troll-A / газовое месторождение Troll / Норвежское море	302	472	661,5 (с балластом)	27,3	688,8	1998
5	Hibernia / нефтяное месторождение Hibernia / Атлантический океан	80	224	600	37	637 (1087 с балластом)	1997
6	Hebron / нефтяное месторождение / Атлантический океан	93	220	685	65	750	2017
7	Oseberg A / нефтегазовое месторождение Oseberg / Северное море	109	220	320 (с балластом)	37	357	1988
8	Draugen A/ нефтяное месторождение / Северное море	252	391	208 (с балластом)	28	236	1993
9	Sleipner A / газовое месторождение Sleipner East / Северное море	82	210	788 (с балластом)	37	825	1993
10	Gullfaks A / нефтегазовое месторождение Gullfaks / Северное море	135	270	651 (с балластом)	47,5	698,5	1986
11	Gullfaks B/ нефтегазовое месторождение Gullfaks/ Северное море	142	285	583,5 (с балластом)	27	610,5	1988
12	Gullfaks C / нефтегазовое месторождение Gullfaks / Северное море	216	262	784 (с балластом)	52	836	1990
13	Statfjord A / нефтяное месторождение / Северное море	145,3	270	254 (с балластом)	41,3	295,6	1979
14	Statfjord B / нефтяное месторождение / Северное море	149	271	434 (с балластом)	42,2	476,2	1982
15	Statfjord C / нефтяное месторождение / Северное море	146,6	290	358,2	48,1	406,3	1985

На рис. 1 представлены разработанные модели гравитационных оснований, а в табл. 2 приведены характеристики гравитационных оснований. Также в таблице приведены сечения каркасов по основанию.

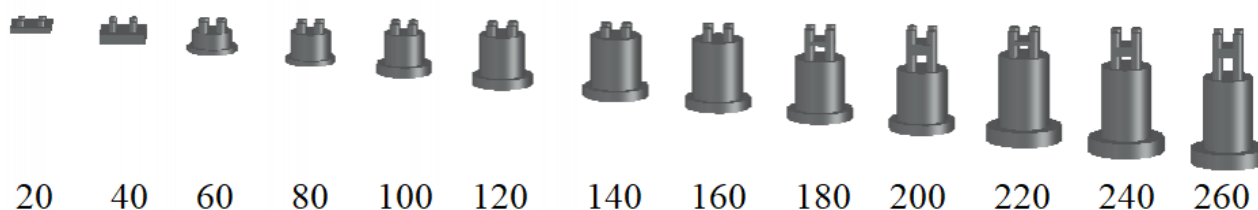


Рис. 1. Модели гравитационных оснований

Таблица 2

Характеристики моделей

Параметры	Наименование						
	Глубина моря, м	Масса стали ОБ, тыс.т.	Масса бетона ОБ, тыс.т.	Масса ВС, тыс.т.	Масса оборуд. в ОБ, тыс.т.	ДхШхВ ДИАМхВ ОБ, м	Подводная часть ОБ, тыс.м ³
GBS 20	20	9,2	86,8	50	2,0	80x80x38	71,1
GBS 40	40	15,4	145,7	50	2,3	90x90x58	176
GBS 60	60	21,7	205,3	50	2,5	100x78	254
GBS 80	80	27,6	261,3	50	3,0	100x98	355
GBS 100	100	34,9	330,9	50	3,5	110x118	517
GBS 120	120	54,0	511,6	50	4,0	120x138	760
GBS 140	140	69,6	659,7	50	5,0	130x158	1076
GBS 160	160	76,8	727,3	50	5,0	130x178	1200
GBS 180	180	74,9	709,5	50	6,5	130x198	1149
GBS 200	200	77,5	734,0	50	6,5	130x218	1197
GBS 220	220	102,2	968,3	50	7,5	150x238	1715
GBS 240	240	104,8	992,8	50	8,0	150x258	1763
GBS 260	260	106,9	1012,9	50	8,0	150x278	1788

Проверка правильности выбранных габаритов опорных оснований проведена путём расчёта устойчивости (несущей способности) сооружений на сдвиг по плоскому основанию [7, 8], т.е. нагрузка на грунт от сооружения и действующих на него воздействий не должна превышать прочности грунта, а трение подошвы основания о грунт должно быть выше общей горизонтальной нагрузки. В рассматриваемой работе принята прочность грунта 300 кПа с коэффициентом трения 0,2.

Схема нагружения должна учитывать наихудший вариант сочетания нагрузок. В качестве наихудшего варианта принято одновременное воздействие ледового поля и ветра. Воздействие подводных течений не учитывается.

Расчёт ледовых нагрузок проводится согласно СП 38.13330.2018 [9]. Расчёт ветровых нагрузок проводится согласно СП 20.13330.2016 [10]. Данные представлены в табл. 3.

Ветровая нагрузка определяется для верхнего строения, при этом для оценочного расчёта допускается исключить нагрузку на колонны опорного основания, располагающиеся выше уровня воды (Рис. 2). В работе принимаем одинаковую конструкцию верхнего строения для всех сооружений.

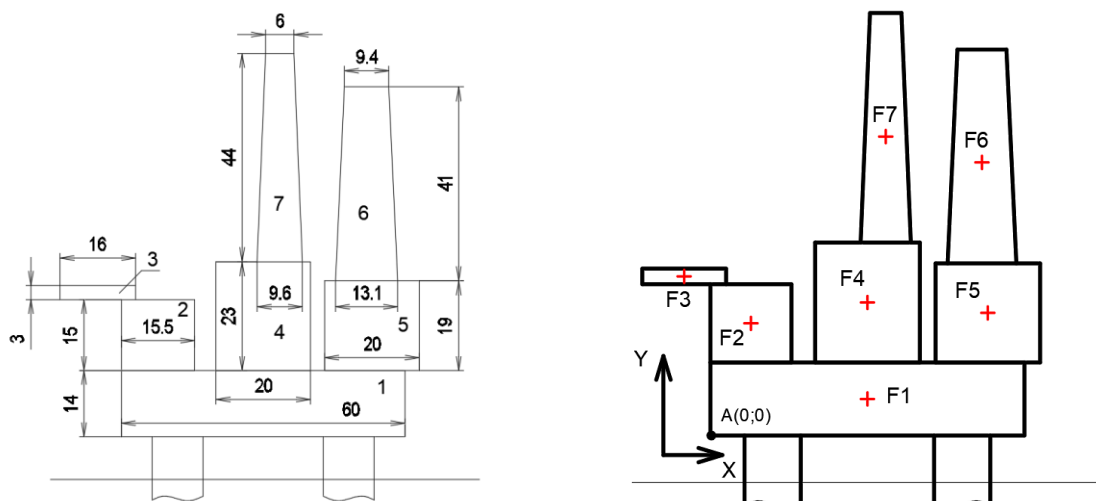


Рис. 2. Точки приложения ветровой нагрузки

1 – основание верхнего строения; 2 – жилой модуль; 3 – вертолётная площадка; 4 – вспомогательный буровой модуль; 5 – буровой модуль; 6 – буровая вышка; 7 – факел.

Устойчивость основания определяется из первого предельного состояния, выполнением следующих условий [7, 8]:

$$\sigma_{max} \leq R$$

$$\sigma_{min} > 0$$

$$F_{тр} > F_{общ}$$

$$F_{тр} = \mu G$$

где R – расчетное сопротивление грунта, равное 300 кН/м^2 .

$F_{общ}$ – суммарная нагрузка всех сил действующая на сооружение.

Максимальные и минимальные напряжения по подошве фундамента определяются по формуле:

$$\sigma_{max,min} = \frac{G}{S} \pm \frac{M}{W}$$

где $\sigma_{max,min}$ – максимальные/минимальные напряжения;

G – вес сооружения;

S – площадь основания сооружения;

M – момент силы;

W – момент сопротивления сечения;

μ – коэффициент трения 0,2.

Представленные в табл. 3 результаты расчётов говорят об устойчивости грунта, а сила трения значительно превышает общую горизонтальную нагрузку на сооружение. Это означает, что разработанные модели опорных оснований являются правильными.

Таблица 3

Результаты расчётов

Параметры	Наименование												
	GBS 20	GBS 40	GBS 60	GBS 80	GBS 100	GBS 120	GBS 140	GBS 160	GBS 180	GBS 200	GBS 220	GBS 240	GBS 260
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Глубина моря, м	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
Масса стали в ОБ, тыс.т.	9,2	15,4	21,7	27,6	34,9	54,0	69,6	76,8	74,9	77,5	102,2	104,8	106,9
Масса бетона в ОБ, тыс.т.	86,8	145,7	205,2	261,2	330,9	511,6	659,7	727,3	709,5	734	968,2	992,8	1013
Масса ВС, тыс.т.	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Подводная часть, тыс.м ³	71,1	176	254	355	517	760	1076	1200	1149	1197	1715	1763	1788
Площадь основания, м	6400	8100	7854	7854	9503	11310	13273	13273	13273	13273	17671	17671	17671
Ветровая нагрузка, МН	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16
Плечо, м	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308
Ледовая нагрузка, МН	12,89	12,89	11,13	11,13	11,13	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Плечо, м	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
Прочность грунта, кПа	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Коэффициент трения	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Вес сооружения с балластом, МН	733	903	910	944	1146	1342	1629	1599	1742	1722	2074	2353	2317
Балласт, тыс. т.	0	60	75	120	230	300	490	540	520	540	850	900	900
Сила трения, МН	146,6	180,7	182,1	188,7	229,1	268,3	325,8	319,8	348,3	344,4	414,8	470,7	463,4
Момент сопротивления, тыс.м ³	85,3	121,5	98,2	98,2	130,7	169,6	215,7	215,7	215,7	215,7	331,3	331,3	331,3
Напряжения по грунту, max, кПа	121,6	119,5	128,4	135,9	134,9	136	138,5	138,3	151,1	151,7	133,0	150,2	149,5
Напряжения по грунту, min, кПа	107,4	103,6	103,4	104,3	106,2	101,3	107,0	102,7	111,3	107,8	101,7	116,2	112,8

Моделирование подводного бурового аппарата

Подводный буровой аппарат относится к альтернативному виду платформ и является новым техническим решением – новой ступенью в развитии сооружений для освоения шельфа. Он состоит из водонепроницаемого корпуса, внутри которого созданы условия для работы команды. Аппарат снабжается оборудованием для бурения скважин с подводным заканчиванием. Также аппарат способен самостоятельно перемещаться под водой, для чего снабжается судовыми системами и движительной установкой. Общий вид бурового аппарата представлен на рис. 3. Модель аппарата создана с учётом существующих изобретений [11, 12].

Исходные данные:

- предельная глубина погружения $h_{np} = 200$ м;
- коэффициент безопасности $k = 1,4$;
- диаметр прочного корпуса $d_{ПК} = 23$ м;
- наружный диаметр лёгкого корпуса = 25 м;
- материал прочного корпуса – сталь категории А40W с пределом текучести $\sigma_T = 390$ Н/мм².

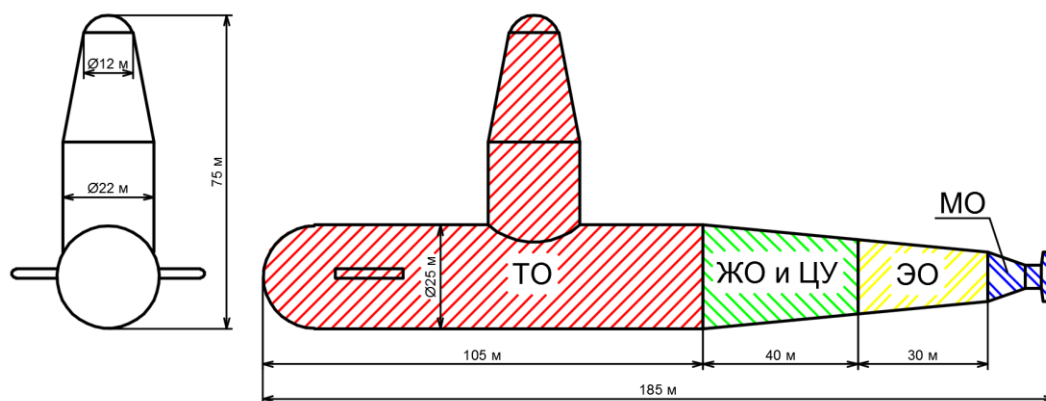


Рис. 3. Общий вид бурового аппарата

ТО – технологический отсек; ЖО и ЦУ – жилой отсек и центр управления; ЭО – энергетический отсек с реакторной установкой; МО – машинное отделение.

Определение параметров прочного корпуса проведено по методикам [13]. Результаты определения параметров набора прочного корпуса представлены на рис. 4.

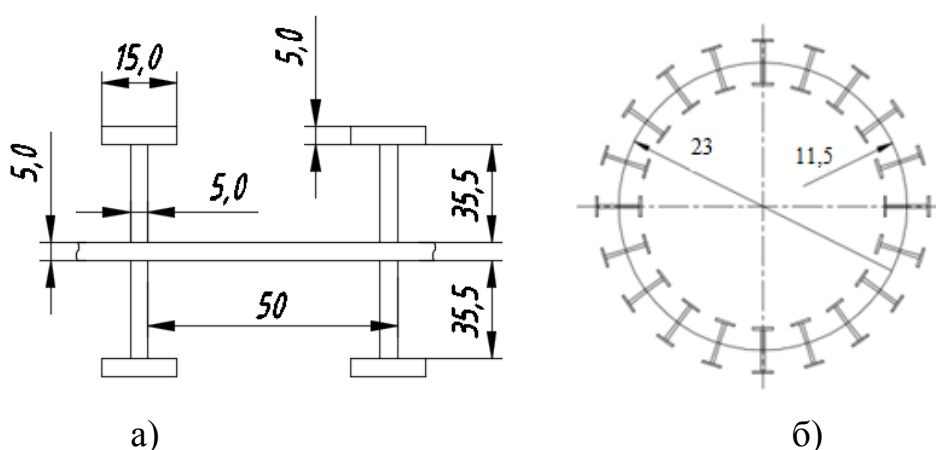


Рис. 4. Набор прочного корпуса

Любой подводный аппарат состоит из прочного внутреннего корпуса и защитного лёгкого наружного корпуса. Прочный корпус воспринимает на себя нагрузки от гидростатического давления и динамических нагрузок при движении, а легкий корпус создаёт обтекаемую форму для уменьшения сопротивления во время движения и защиты от столкновения с объектами. Также пространство между корпусами используется для прокладки коммуникаций и размещения емкостей различного назначения. Параметры набора лёгкого корпуса представлены на рис. 5.

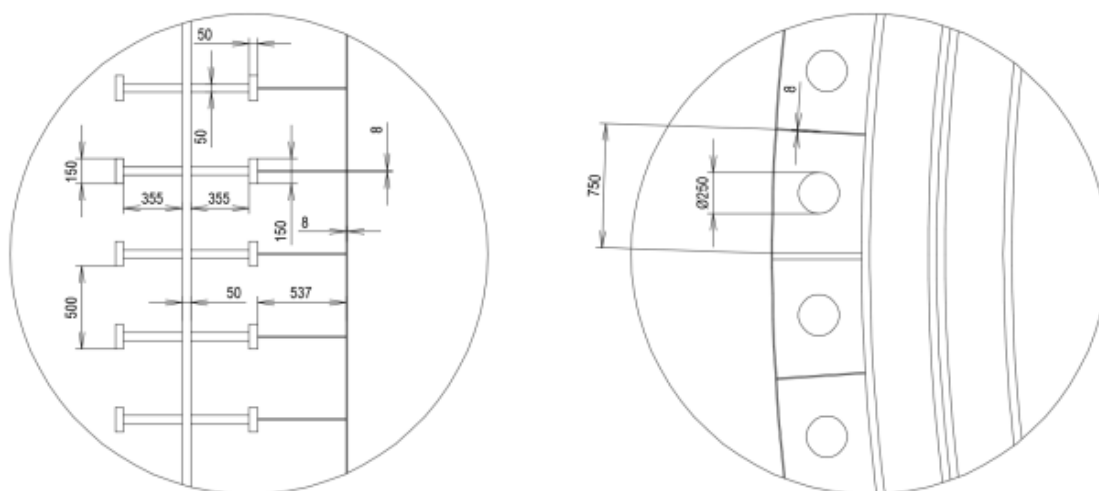


Рис. 5. Набор лёгкого корпуса

Полученные параметры набора корпусов рассчитаны без учёта внутренних усиливающих конструкций палуб и колонн, т.е. прочны без каких-либо дополнительных усилений.

В табл. 4 представлены оценочные данные по массам элементов подводного аппарата (смотреть совместно с рис. 3).

Таблица 4

Массы частей подводного аппарата

№ п/п	Параметр	Масса общая, т
1	Прочный и лёгкий корпуса	
	ТО	9830
	ЖО и ЦУ	2440
	ЭО	2110
	МО	1660
2	Внутренние металлоконструкции	1080
	ТО	3230
	ЖО и ЦУ	1110
	ЭО	870
	МО	650
3	Судовое оборудование	5000
4	Судовые инженерные системы	1000
5	Технологическое оборудование	9050
6	Технологические инженерные системы	3000
7	Иное насыщение	500
	Сумма:	41530
	Поправочный коэффициент массы	20%
	Итого:	49836

Помимо указанной выше архитектуры подводного бурового аппарата существуют еще несколько вариантов [14, 15]. Оба варианта используют тороидальную форму непроницаемого корпуса (Рис. 6, 7).

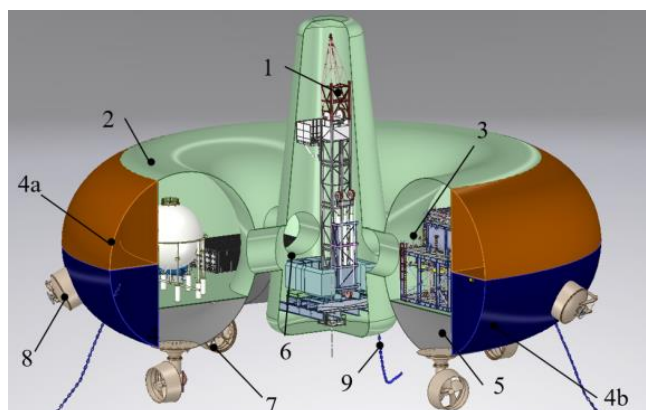


Рис. 6. Общий вид подводной установки [15]

1 - Буровая вышка, 2 - корпус аппарата, 3 - технологический отсек, 4a/4b - топливный и балластный танки; 5 - техпространство; 6 - буровой модуль; 7 - движители; 8 - люк доступа; 9 - якорная цепь.

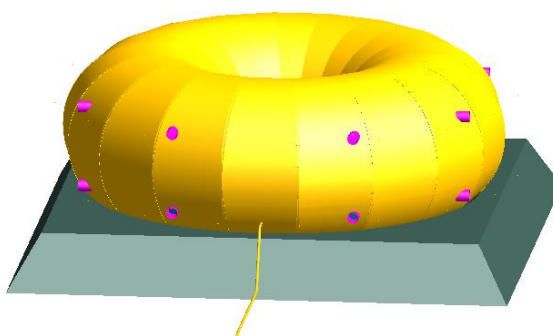


Рис. 7. Общий вид подводной установки на ж/б основании [14].

Корпус выполнен из пространственной рамы без двойного борта. Высота корпуса 36 м, наибольшая ширина 96 м. Общая масса 175 тыс. тонн (корпус 110 тыс. тонн и оборудование 65 тыс. тонн).

Анализ моделирования

В табл. 5 представлены результаты проведенного исследования и расчётов, на рис. 8 приведено графическое представление данных из табл. 5. В столбце «Масса стали» указаны данные для гравитационных платформ – масса арматуры для опорного блока (см. табл. 3); для подводных аппаратов – масса стали, необходимая для корпуса сооружения. В обоих случаях не учитывается масса оборудования.

Таблица 5

Данные для сравнения

Обозначение	Параметры									Снеговая нагрузка, обледенение, осадки
	Глубина моря, м	Масса стали, тыс. т.	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Ледовая нагрузка, МН	Ветровая нагрузка, МН	Волновая нагрузка, МН	Давление среды, атм.	
GBS 20	20	9,2	80	80	38	12,89	5,16	4,58	1	да
GBS 40	40	15,4	90	90	58	12,89	5,16	4,58	1	да
GBS 60	60	21,7	100	100	78	11,13	5,16	6,13	1	да
GBS 80	80	27,6	100	100	98	11,13	5,16	6,13	1	да
GBS 100	100	34,9	110	110	118	11,13	5,16	6,13	1	да
GBS 120	120	54,0	120	120	138	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 140	140	69,6	130	130	158	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 160	160	76,8	130	130	178	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 180	180	74,9	130	130	198	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 200	200	77,5	130	130	218	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 220	220	102,2	150	150	238	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 240	240	104,8	150	150	258	17,31	5,16	6,13	1	да
GBS 260	260	106,9	150	150	278	17,31	5,16	6,13	1	да
Подводный аппарат торпедной формы	до 280	23,0	185	25	75	нет	4,81*	11,3	28	нет
Подводный аппарат тороидной формы	до 200	110	96	96	36	нет	4,7*	8,6	20	нет

* - для случаев надводного перемещения; при эксплуатации отсутствует.

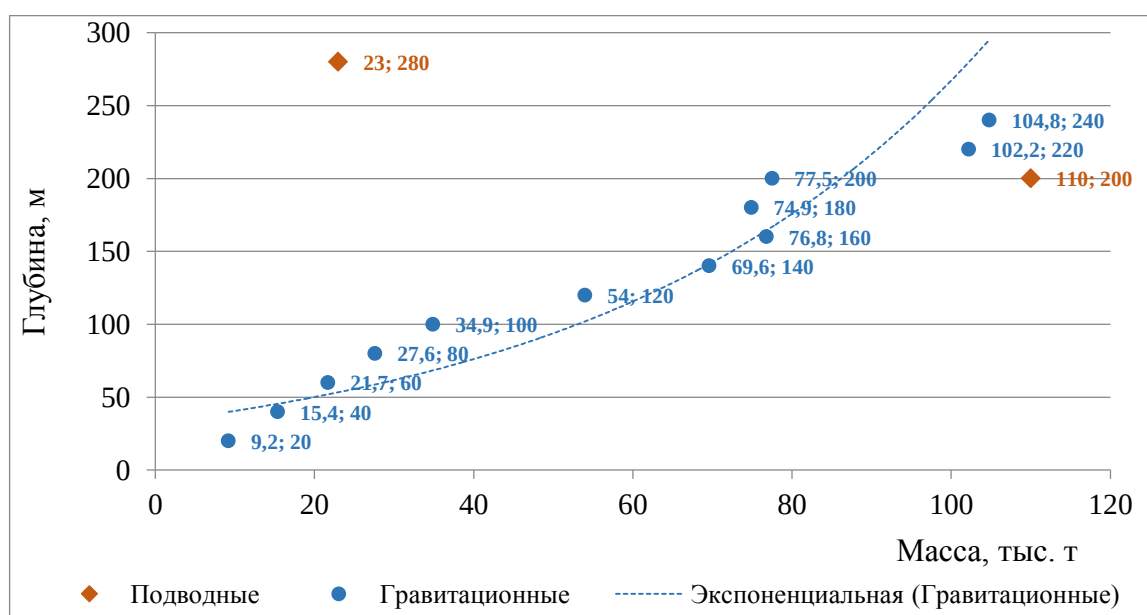


Рис. 8. График зависимости массы сооружений от глубины

На основании вышеизложенных данных в табл. 5 можно сделать следующие выводы.

1. Стационарные сооружения имеют ограничения по глубине моря в месте эксплуатации. Ограничения связаны с колоссальными ледовыми нагрузками. При этом подводные аппараты не имеют ограничения по глубине моря, однако нет необходимости погружать их ниже 280 м. На больших глубинах их можно использовать в качестве «полупогружных».
2. Модель сооружения [14, 15] проработана на начальном этапе, поэтому получилось такое превышение по массе по сравнению с более проработанной моделью в виде подводной лодки. Переходя условный порог глубины в 60 м, масса стали традиционного сооружения больше альтернативного. Стоит справедливо отметить, что это разные стали. В ж/б основании используется арматурная сталь, в то время как для подводного корпуса потребуется высококачественная и высокопрочная сталь. Но не стоит забывать о бетоне, необходимом для традиционных платформ.
3. Размеры традиционных и альтернативных платформ в плане почти сопоставимы, однако высокие сооружения (свыше 60 м) потребуют организации специальных строительных площадок и методов строительства (применение скользящей опалубки и места с глубиной моря не менее общей высоты опорного основания).
4. Нагрузки на надводные сооружения выше, чем на подводные. Волновая нагрузка на альтернативную платформу обусловлена большой парусностью в надводном положении. В то время как у традиционных сооружений волновая нагрузка действует только на колонны. Нагрузка на корпус от гидростатического давления значительно ниже по сравнению с любой из надводной нагрузок. Под водой добавляется нагрузка от течений, которой также подвергается традиционная платформа.

Заключение

Полученные данные показывают преимущества подводных сооружений. Они обходят традиционные сооружения по глубине применения, массе и габаритам. Также на подводные сооружения действуют меньшие нагрузки, они не требуют комплексной защиты от ледовых воздействий, которые являются сложно непреодолимыми для традиционных платформ.

Уже с глубины в 80 м целесообразнее использовать подводные аппараты. Они менее металлоёмки, хотя и более технологичны. Такие аппараты станут новой ступенью освоения, так как в последние годы совершенствование морских платформ идёт по пути доработки ранее созданных. Однако для перехода на новый уровень просто необходима разработка нового метода, а не доработка существующего.

Стоит отметить, что эти параметры не являются основными при выборе способа обустройства месторождения, и не позволяют говорить полном преимуществе подводных сооружений перед традиционными надводными.

Мы намеренно не стали подробно раскрывать другие параметры, например, технологичность и новизну, и показывать взаимное влияние параметров друг на друга. В работе отражены только те параметры, которые можно сравнить в цифровом исчислении.

Мы понимаем сложность учёта широкого перечня фактов, влияющих на выбор способа освоения и их влияние друг на друга. Это сложная система оценок. В дальнейшем планируем рассмотреть оставшиеся параметры по отдельности. А после их подробного изучения и представления публике, показать общее влияние всех параметров для обоснования подводного способа освоения.

Список литературы

1. Platform information. Cook inlet, Alaska. Belmar Engineering, Redondo Beach, California. 101 pages. 2014.
2. Timco G.W. and Frederking R. Overview of Historical Canadian Beaufort Sea Information. NRC Canadian Hydraulics Centre. Technical report CHC-TR-057. 99 pages. 2009.
3. Официальный сайт проекта Хеброн [Электронный ресурс]// URL: <https://hebronproject.com/> (Дата обращения: 08.08.2021).
4. Перечень гравитационных платформ [Электронный ресурс]// Международная база данных и галерея гравитационных сооружений. URL: <https://structurae.net/en/structures/off-shore-marine-structures/gravity-base-structures/list> (Дата обращения: 08.08.2021).
5. Joar Tistel, Anders Bye, Gudmund Reidar Eiksund. "Gravity-based dtructure foundation design and optimization opportunities" International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) Conference paper, 2015. Hawaii, USA. 772-779.
6. Монин А.С. Введение в теорию климата. Ленинград Гидрометеиздат 1982, 247 с.
7. Бородавкин П.П. Механика грунтов.: Недра, 2003 (учебник).
8. СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений. М.: Минстрой России, 2018. 102 с.
9. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Стандартинформ России, 2019. 106 с.
10. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия: актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: Минстрой России, 2016. 80 с.
11. Патент RU 2081289C1. Подводная буровая установка и опорная платформа для неё. Гаврилов В.П., Корнев А.М. – заяв. № 95110720/03, опубл. 30.06.1995 – 9 с.: 5ил.
12. Патент RU 2624841C1. Подводный буровой модуль для бурения нефтяных и газовых скважин. Торопов Е.Е., Кириллов М.В. – заяв. № 2016114701, опубл. 15.04.2016 – 1 с.
13. Шемендюк Г.П., Петрович Ч.Ч. Проектирование корпусов подводных лодок. Учебное пособие: - Владивосток: Издательство ДВГТУ, 2007 – 166 с.
14. Бобов Д.Г. Выпускная квалификационная работа бакалавра на тему: «Обустройство Ленинградского ГКМ в Карском море». РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 2015. 85 с.
15. Хазеев В.Б., Гусейнов Ч.С. Выбор формы корпуса подводной платформы – Бурение и нефть №5, 2019. 16-20 с.

References

1. Platform information. Cook inlet, Alaska. Belmar Engineering, Redondo Beach, California. 101 pages. 2014. (in English)
2. Timco G.W. and Frederking R. Overview of Historical Canadian Beaufort Sea Information. NRC Canadian Hydraulics Centre. Technical report CHC-TR-057. 99 pages. 2009. (in English)
3. Hebron Project official site [electronic source]. URL: <https://hebronproject.com/>
4. Gravity-based platform list [electronic source]. International database and gravity-dependent structure gallery. URL: <https://structure.net/en/structures/off-shore-marine-structures/gravity-base-structures/list> (in English)
5. Joar Tistel, Anders Bye, Gudmund Reidar Eiksund. "Gravity-based structure foundation design and optimization opportunities" International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) Conference paper, 2015. Hawaii, USA. 772-779. (in English)

6. A.S. Monin Vvedeniye v teoriyu klimata [Introduction to climate theory]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982, 247 p (in Russian)
7. P.P. Borodavkin Mekhanika gruntov [Rock mechanics]. Training manual. Nedra Publ., 2003 (in Russian)
8. Guidelines 23.13330.2018. Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij [Hydraulic structure bases]. Moscow, Ministry of Construction, 2018, 102 p (in Russian)
9. Guidelines 38.13330.2018 Nagruzki i vozdeystviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov) [Loads and impacts on hydraulic structures: wave, ice, and water craft]. Moscow, Standartinform Rossii (Russian Standardinform). 2019, 106 p. (in Russian)
10. Guidelines 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya: aktualizirovannaya redakciya SNIp 2.01.07-85* [Loads and impacts: revised edition of Building Code 2.01.07-85*]. Moscow, Ministry of Construction, 2016, 80 p. (in Russian)
11. RF Patent 2081289C1. V.P. Gavrilov, A.M. Kornev Podvodnaya burovaya ustanovka i opornaya platforma dlya neyo. [Underwater drilling rig and its support platform]. Patent appl. No. 95110720/03, publ. on 30.06.1995, 9 p (in Russian)
12. RF Patent No. 2624841C1. E.E. Toropov, M.V. Kirillov Podvodnyj burovoy modul' dlya bureniya neftyanyh i gazovyh skvazhin. [Underwater drilling module for oil-well and gas-well drilling]. Patent appl. No. 2016114701, publ. on 15.04.2016, 1 p. (in Russian)
13. G.P. Shemendyuk, Ch.Ch. Petrovich Proektirovanie korpusov podvodnyh lodok. [Constructional design of submarine hulls]. Study guide. Vladivostok, DVG TU Publ., 2007, 166 p. (in Russian)
14. D.G. Bobov Obustroystvo Leningradskogo GKM v Karskom more [Leningradskoye field facilities construction in the Kara sea]. Bachelor's thesis. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2015, 85 p (in Russian)
15. V.B. Khazeev, Ch.S. Guseinov Vybor formy korpusa podvodnoj platformy [Underwater platform hull form selection]. Bureniye i Neft (Drilling and Oil), 2019, No.5, pp.16-20 (in Russian)

Сведения об авторах

Бобов Дмитрий Геннадьевич, соискатель степени кандидата технических наук, ФГАОУВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, 65

E-mail: dmitry_bobov@mail.ru

Гусейнов Чингиз Саибович, доктор технических наук, профессор, ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук

Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, 3

E-mail: guseinov2@yandex.ru

Authors

D.G. Bobov, Habilitation candidates, National University of Oil and Gas «Gubkin University»
65, Leninsky Prospekt, Moscow, 119991, Russian Federation

E-mail: dmitry_bobov@mail.ru

Ch.S. Guseinov, Doctor of technical science, Professor, Oil and gas research Institute RAS
3, Gubkin st., Moscow, 119333, Russian Federation.

E-mail: guseinov2@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11.09.2021

Принята к публикации 09.12.2021

Опубликована 30.12.2021