

Увеличение сдвиговой и несущей способности ледостойкой гравитационной платформы

В.В. Ярошик, А.М. Буров, М.А. Савин

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Представлены результаты теоретических исследований и анализ методов, которые позволят существенно снизить вес гравитационной нефтедобывающей платформы. При этом сохранится ее статическая, динамическая, а также сдвиговая устойчивость под воздействием ветровой, волновой, ледовой нагрузки и нагрузки от течения. С целью снижения веса и габаритных размеров, предложено нижнюю часть основания платформы оконтуривать металлической шпунтовой стенкой. В результате теоретических исследований, найдена зависимость сдвигающего усилия под воздействием внешних сил, действующих на платформу при эксплуатации, от физико-механических свойств грунта и размеров шпунтовой стенки, что позволит существенно снизить вес платформы и стоимость ее строительства.

Ключевые слова: гравитационная нефтедобывающая платформа, сдвиговая устойчивость, шпунтованная стенка, действующие на платформу внешние силы, устойчивость от опрокидывания.

Для освоения морских месторождений возникла необходимость проектирования и строительства морских ледостойких платформ, которые могли бы эксплуатироваться в глубоководных районах, подверженных сильному волновому, ветровому и ледовому воздействию. Существуют несколько разновидностей таких платформ. Это стационарная ледостойкая платформа на свайном основании и гравитационного типа, полупогружная буровая платформа, самоподъемная буровая платформа [1-3]. Заслуживает внимания гравитационная платформа. Гравитационная платформа с буровым комплексом предназначена для бурения, добычи, подготовки продукции для транспортирования. Сооружение состоит из опорного блока кессонного типа и верхнего строения. В состав верхнего строения входят добывающий блок, технологический и энергетический комплекс.

Под термином «гравитационные» понимаются все платформы, удерживаемые на дне за счет собственного веса и связей нижней части платформы с грунтом основания. Районы применения МСП-ГТ (морская стационарная платформа гравитационного типа) обуславливаются, главным образом, мощными силовыми воздействиями на платформу, стремящимися сдвинуть или опрокинуть ее. Такими силовыми воздействиями являются: сейсмические воздействия, течение, волны, ветер и особенно подвижки льда в зимний период.

В данной работе сделан анализ методов, которые позволят существенно снизить вес платформы при сохранении статической и динамической определенности положения платформы, находящегося под воздействием любых внешних и внутренних сил, а также сдвиговой устойчивости [4,5].

В качестве примера рассмотрим гравитационную платформу, эксплуатируемую в районе нефтяного месторождения, расположенного на юго-восточном мелководном шельфе Баренцева моря.

Устойчивость платформы на сдвиг в безледовой период будет обеспечена, если:

$$f * (D - \gamma V_B) > Q_B + Q_{вол} + Q_T, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения опорного основания (кессона) о грунт (принимается $f = 0,5$;

V_B - объем вытесненной воды, m^3

D - вес платформы с твердым и жидким балластом, тс

Q_B - ветровая нагрузка, кН;

$Q_{вол}$ - волновая нагрузка, кН;

Q_T - нагрузка от течения. кН.

Устойчивость платформы от опрокидывания будет обеспечена, если:

$$\square I_D * (D - \gamma V_B) \cdot B = M_w - M_{вол.} + M_T, \quad (2)$$

где $\square l_D * (D - \gamma V_B) = 0,5 * 126 = 63\text{м}$ – плечо силы $(D - \gamma V_B)$;

M_w – ветровой момент, $\text{кН}\times\text{м}$;

$M_{\text{вол.}}$ - волновой момент, $\text{кН}\times\text{м}$;

M_T - момент нагрузки от течения, $\text{кН}\times\text{м}$.

В ледовый период устойчивость платформы на сдвиг будет обеспечена, если:

$$f * (D - \gamma V_B) > Q_B + F_h + Q_T, \quad (3)$$

где F_h - горизонтальная составляющая ледовой нагрузки.

Расчет нагрузок от действия волн и течений выполняется в соответствии с методикой, изложенной в СП 38.13330.2012 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения».

Ветровые нагрузки определяются по формуле 4, кН :

$$Q_w = 10^{-3} \rho_w (\sum S_i \cdot k_{1i} \cdot k_{2i}) \quad (4)$$

где Q_w – равнодействующая сила ветра, кН ;

$\rho_w, w_{10}, S_i, k_{1i}, k_{2i}$ – коэффициенты, принимаемые по таблицам, изложенным в СП.20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Схема площади парусности приведена на рис. 1. Ветровые моменты относительно плоскости опирания определены по формуле 5, $\text{кН}\cdot\text{м}$:

$$M_{wz} = Q_w \cdot (H_c + h_F), \quad (5)$$

Ледовая нагрузка

Проблемы при выборе типа морской стационарной платформы для работы в ледовых условиях приведены [6,7]. Нагрузку от воздействия движущегося ледяного поля (рис.2) следует определять по формулам:

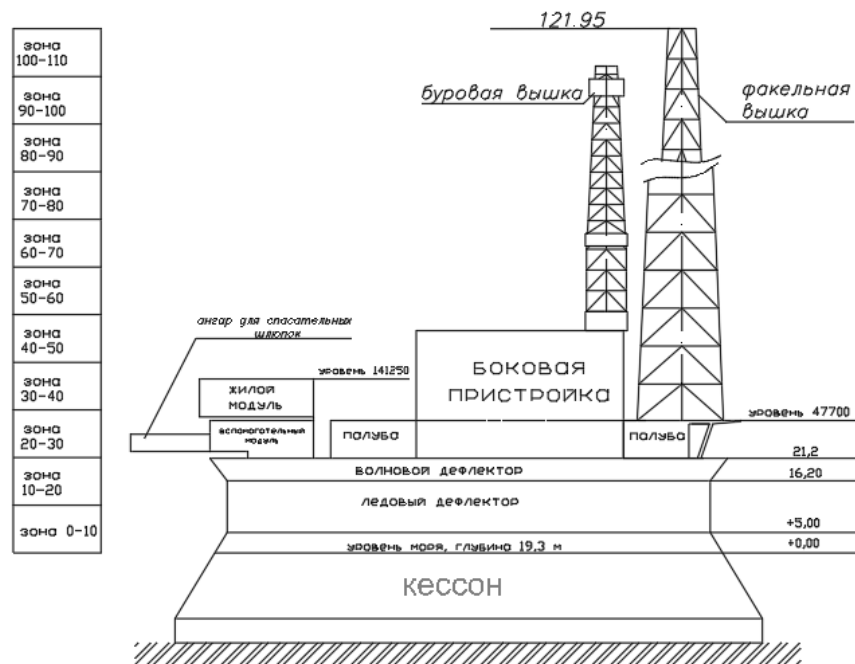


Рис.1. Схема площади парусности

а) горизонтальную составляющую нагрузки F_h , МН,

$$F_h = k_b k_D R f b h d \operatorname{tg}(b + \arctg f) + m_h [1 + A_1 (f - 0,1) + A_2 (f - 0,1)^2] b, \quad (6)$$

б) вертикальную составляющую нагрузки F_v , МН,

$$F_v = k_b k_D R f b h d + m_v [1 + A_3 (f - 0, 1)] b, \quad (7)$$

где k_b , k_D , m_h , A_1 , A_2 , A_3 , m_v – коэффициенты, принимаемые по таблицам изложенных в СП 38.13330.2012 ;

f – коэффициент трения.

Момент от воздействия ледяного поля относительно нижнего ребра (отметка 0,00 м) тыльной грани кессона $M_{л.п.}$, МН*м, вычислим по формуле:

$$M_{л.п.} = F_h * h_r - F_v * h_v, \quad (8)$$

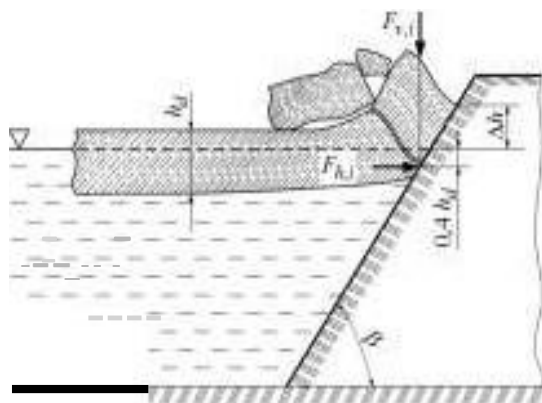


Рис.2. Схема приложения нагрузок от движущегося ледяного поля на сооружение откосного профиля

Расчет нагрузок от течения на опорное основание платформы, поставленной на дно.

Нагрузка H на преграду (подводную часть кессона) и расстояние от точки ее приложения до расчетного уровня водоема z_T , м, определяются по формуле H :

$$Q_T = 0,5 * C_x * \rho * B * v^2 / 6 * (v_0^2 + v_0 * v_g + v_g^2), \quad (9)$$

где C_x , ρ , b , v — коэффициенты, принимаемые по таблицам, изложенным в СП 38.13330.2012.

Устойчивость платформы на грунте

При действии всех внешних сил на платформу, устойчивость на грунте при эксплуатации обеспечивается за счет собственного веса и коэффициента трения. С целью снижения веса и габаритных размеров, нижнюю часть основания платформы оконтуриваем металлической шпунтовой стенкой. Конструкция состоит из направляющего кондуктора, в который устанавливаются поочередно шпунты [8]. Забивка шпунта на необходимую глубину осуществляется с помощью свайных молотов. Одним из наиболее экономически выгодных шпунтов является шпунт Ларсена.

Соппротивление грунта сдвигу определяется [9,10]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (10)$$

где φ - угол внутреннего трения, c - сцепление грунта.

Используя шпунтовую стенку по всему периметру основания платформы разной высоты и соответственно площади, определим величину сдвигающего усилия, в зависимости от категории грунта по формуле 11:

$$\varphi * (D^* - yV_B) = F_{\text{сдв.}}; \quad (11)$$

где $(D^* - yV_B)$ величина выигрыша веса платформы в воде, кН;

$F_{\text{сдв.}}$ – величина сдвигающего усилия, кН.

Результаты вычислений сведены в таблицу 1. На рисунке 3 приведена зависимость сдвигающего усилия от свойств грунта и высоты шпунтовой стенки.

Таблица 1

Зависимость сдвигающего усилия, от свойств грунта и высоты шпунтовой стенки

Высота шпунтовой стенки, м	Предел прочности на сдвиг, суглинок, $\tau=0,2$ Мпа				Предел прочности на сдвиг, глина, $\tau=0,3$ Мпа			
	Вес шпунтовой стенки, кН	Площадь шпунтовой стенки, м ²	Сдвигающее усилие, кН	Уменьшение веса опорного блока, кН	Вес шпунтовой стенки, кН	Площадь шпунтовой стенки, м ²	Сдвигающее усилие, кН	Уменьшение веса опорного блока, кН
3	2156	750	150000	297844	2156	750	225000	447844
4	2695	1000	200000	397305	2695	1000	300000	597305
5	3234	1250	250000	496766	3234	1250	375000	746766
6	3773	1500	300000	596145	3773	1500	450000	896227

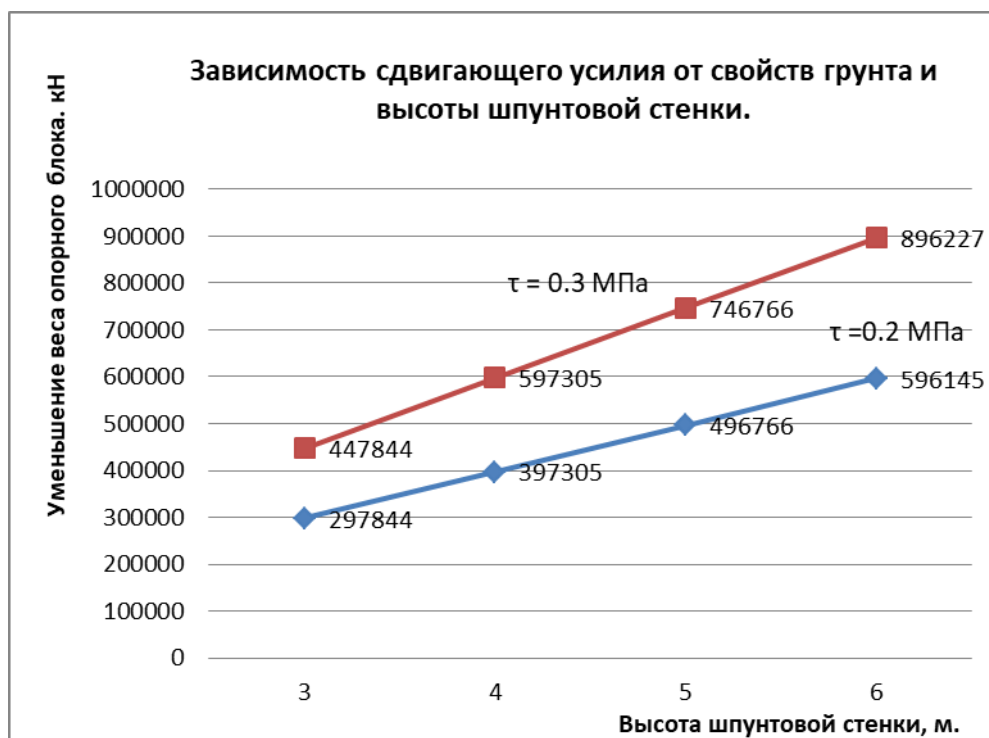


Рис 3. Зависимость сдвигающего усилия от свойств грунта и высоты шпунтовой стенки.

В результате теоретических исследований, найдена зависимость сдвигающего усилия под воздействием внешних сил, действующих на платформу при эксплуатации, от физико-механических свойств грунта и размеров шпунтовой стенки, что позволит существенно снизить вес платформы и стоимость ее строительства. Результаты исследования могут быть использованы для проектирования морских нефтегазовых сооружений.

Литература

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения, часть I. Конструирование: учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. 422 с.
2. Ярошик В.В., Краснов М.С. Разработка ледостойкой конструкции райзерного блока кессонного типа // Ежегодная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава и студентов Волгоградского государственного архитектурно-строительного



- университета: материалы конф, Волгоград, 29-30 апр. 2014 г: в 2 ч. - Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2014. - Ч. 1. - С. 178-180.
3. Перфилов В. А., и др. Проектирование и строительство морских нефтегазовых сооружений: в 2 ч. Рек. УМО РАЕ по клас. унив. и техн. образованию. Учебник. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2018. - с. 296-300.
4. Бреббиа К., Уокер С. Динамика морских сооружений. - Пер. с англ. -Л.: Судостроение, 1983. -232 с.
5. Картамышев П.И., Благовидов Л.Б., Морозов Е.П, Перец Н.Я. Перспективные направления проектирования и строительства морских стационарных платформ. // Технология судостроения, 1990, № 9, с. 24-26.
6. Ильина, С. В. Проблемы при выборе типа морской стационарной платформы для работы в ледовых условиях // Технические науки в России и за рубежом: материалы I Междунар. науч. конф. (г. Москва, май 2011 г.). — Москва: Ваш полиграфический партнер, 2011. — С. 86-91.
7. Тухарели В.Д., Тухарели А.В., Очиров Н.Д. Особенности организации строительства объектов нефтегазовой отрасли // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5088.
8. Ярошик В.В., Малышев Г.А. Технология возведения опорной стенки искусственного острова под кустовое бурение // Ежегодная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава и студентов Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета: материалы конф., Волгоград, 29-30 апр. 2014 г.: в 2 ч. - Изд-во ВолгГАСУ, 2014. - Ч. 1. - С. 184-187.
9. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). СПб.: Изд-во Лань, 2012. – 415 с.
10. Заручевных И.Ю., Невзоров А.Л. Механика грунтов в схемах и таблицах. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 134 с.
-

References

1. Borodavkin P.P. Morskie neftegazovy`e sooruzheniya, chast` I. Konstruirovaniye: ucheb. dlya vuzov [Offshore oil and gas facilities, part I. Construction: studies. for universities]. M. ООО «Nedra-Biznescentr», 2006. 422 p.
 2. Yaroshik V.V., Krasnov M.S. Razrabotka ledostojkoj konstrukcii rajzernogo bloka kessonnogo tipa. Ezhegodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava i studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta: materialy konf. Volgograd, 29-30 apr. 2014 g. v 2 ch. Izd-vo VolgGASU, 2014. Ch. 1. pp. 178-180.
 3. Perfilov V. A., i dr. Proektirovaniye i stroitel'stvo morskix neftegazovy`x sooruzhenij [Design and construction of offshore oil and gas facilities]. V 2 ch. Rek. UMO RAE po klas. univ. i texn. Obrazovaniyu. Uchebnik. Volgograd, izd-vo VolgGTU, 2018. pp. 296-300.
 4. Brebbia K., Uoker S. Dinamika morskix sooruzhenij [Dynamics of offshore structures]. Per. s angl. L. Sudostroenie, 1983. 232 p.
 5. Kartamy`shev P.I., Blagovidov L.B., Morozov E.P, Perekz N.Ya. Tekhnologiya sudostroeniya, 1990, № 9, pp. 24-26.
 6. Il`ina, S. V. Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom: materialy I Mezhdunar. nauch. konf. (g. Moskva, maj 2011 g.). Moskva: Vash poligraficheskij partner, 2011. pp. 86-917.
 7. Tuxareli V.D., Tuxareli A.V., Ochirov N.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5088.
 8. Yaroshik V.V., Maly`shev G.A. Texnologiya vozvedeniya opornoj stenki iskusstvennogo ostrova pod kustovoe burenie. Ezhegodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava i studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta: materialy konf., Volgograd, 29-30 apr. 2014 g.: v 2 ch. Izd-vo VolgGASU, 2014.
-



СН. 1. - С. 184-187.9. Dalmatov B.I. Механика грунтов, основания и фундаменты` (vklyuchaya special`ny`j kurs inzhenernoj geologii) [Soil mechanics, foundations and foundations (including a special course in engineering geology)]. SPb. Izd-vo Lan`, 2012. 415 p.

10. Zaruchevny`x I.Yu., Nevzorov A.L. Механика грунтов в схемах и таблицах [Soil mechanics in diagrams and tables]. М. Izd-vo ASV, 2007. 134 p.