

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2018, №2, Том 5 / 2018, No 2, Vol 5 <https://t-s.today/issue-2-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/13SATS218.pdf>

DOI: 10.15862/13SATS218 (<http://dx.doi.org/10.15862/13SATS218>)

Статья поступила в редакцию 16.05.2018; опубликована 07.07.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Пиляев С.И. Некоторые особенности моделирования массивных ледостойких опор сооружений континентального шельфа // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №2, <https://t-s.today/PDF/13SATS218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/13SATS218

For citation:

Pilyaev S.I. (2018). Some features of modeling of massive ice-resistant supports of continental shelf structures. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/13SATS218.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/13SATS218

УДК 69.059.1

Пиляев Сергей Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: monokap@mail.ru

Некоторые особенности моделирования массивных ледостойких опор сооружений континентального шельфа

Аннотация. Особое место в решении проблем освоения континентального шельфа России занимает создание морских платформ на ледостойких основаниях.

В настоящее время морские нефтяные месторождения открываются на значительных расстояниях от берега. При освоении нефтегазоносных акваторий замерзающих морей в условиях малых глубин (15-50 м) предполагается использовать морские платформы с опорной частью в виде вертикальных цилиндрических опор большого диаметра и тел вращения с большими размерами поперечного сечения (конус, монопод, затопленный цилиндр и др.). Для хранения нефти непосредственно в районе месторождения в этих случаях целесообразно строить крупные нефтяные цилиндрические резервуары большого диаметра. Устойчивость таких сооружений от воздействия волн обеспечивается их собственным весом и весом нефтепродуктов.

Для оценки силового воздействия волн на такие конструкции проводятся теоретические и экспериментальные исследования. Отмечается, что при проведении экспериментальных работ одним из основных вопросов, является выбор наибольшего диаметра модели, при котором влияние стенок волнового канала на характер движения волнового потока и измеряемые волновые нагрузки будет незначительным.

Статья актуальна в связи с недостаточной изученностью вопросов расчёта нагрузок и воздействий от волн на рассматриваемые сооружения.

Исследования проведенные в МГСУ по оценке влияния ширины лотка на цилиндрические и конические модели показали зависимость волновых нагрузок от относительной ширины волнового канала. Приведены рекомендации по влиянию ширины волнового канала на проводимые измерения волновых нагрузок при моделировании.

Ключевые слова: морские платформы; шельф; модели; цилиндр; волновые нагрузки; исследования; нефть

В настоящее время морские нефтяные месторождения открываются на значительных расстояниях от берега. При освоении мелководных участков континентального шельфа на замерзающих акваториях в условиях относительно малых глубин (15-50 м) в числе перспективных типов сооружений следует рассматривать ледостойкие основания в виде цилиндрических, конических и сложно-составных опор с большими размерами поперечных сечений [5, 8].

Для хранения нефти непосредственно в районе месторождения в этих случаях целесообразно строить крупные нефтяные цилиндрические резервуары большого диаметра. Устойчивость таких сооружений от воздействия волн обеспечивается их собственным весом и весом нефтепродуктов. Современное развитие исследований по воздействию волн на ледостойкие преграды больших размеров как в зарубежной, так и в отечественной практике идет в двух направлениях: теоретические исследования и экспериментальные на моделях в волновых лотках и бассейнах [6, 10].

Чисто теоретическое решение задачи определения величины волновой нагрузки на массивные преграды в виде тел вращения различной формы с учетом дифракции волн представляется чрезвычайно сложным, поэтому экспериментальные исследования волновых нагрузок на модели ледостойких сооружений являются одним из необходимых способов изучения проблемы, особенно при сложной форме опор [4, 9].

При проведении экспериментальных работ одним из основных вопросов, является выбор наибольшего (предельного) диаметра модели, при котором влияние стенок волнового канала на характер движения волнового потока и измеряемые волновые нагрузки будет незначительным.

При обтекании преграды относительно большого диаметра, когда преобладает инерционная составляющая волнового давления $Q_x = Q_{x \text{ ин.}}$ и существенном влиянии дифракции волн, в натуре, и на модели действующие силы определяются почти полностью объёмными силами, для которых справедлив закон гравитационного подобия (Закон Фруда) [2, 7]:

$$F_r = \frac{v_x^2}{d \cdot g} = const,$$

где v_x – горизонтальная составляющая орбитальной скорости частиц в волне,

d – характерный линейный размер опоры.

Критерий Струхалия или гомохронности характеризующий инерционные силы, в этом случае будет выполняться автоматически [1, 3]. При приведении экспериментальных данных, полученных при моделировании, к натурным условиям можно использовать зависимости, определяемые моделированием по критерию F_r [8]:

$$L_n = L_m \cdot \lambda_m, T_n = T_m \cdot \sqrt{\lambda_m}, Q_n = Q_m \cdot \lambda_m^3,$$

где L – линейные размеры, T – временный параметр, Q – волновые нагрузки, λ – линейный масштаб моделирования, индексы «м», «н» относятся соответственно к модели и к натуре.

Экспериментальные исследования по исследованию влияния ширины канала на измеряемые волновые нагрузки проводились в Отраслевой лаборатории кафедры Гидравлики и Гидротехнического строительства МГСУ при регулярном волнении. Исследования проводились в волновом бассейне длиной 30 м, шириной 30 м, глубиной 1,4 м. Для возможности исследования волновых воздействий по полупространственной схеме (при фронтальном подходе волн к опытной модели) в бассейне создавался искусственный волновой канал с изменяющейся шириной (начальная ширина канала составляла 4 м). Для проведения намеченной программы исследований были изготовлены две модели – цилиндрическая и коническая. Диаметр цилиндрической модели составлял 60 см, а диаметр основания конической модели 51.5 см. Параметры волн регистрировались стандартными волномерами типа – РУС. Горизонтальная составляющая волновой нагрузки на опытную модель регистрировалась двумя датчиками опорных реакций, которые размещались приблизительно на равных расстояниях по высоте от точки приложения равнодействующей (см. рис. 1). Конструкция узлов крепления опорных датчиков к модели обеспечивала их шарнирное опирание. Датчик опорной реакции представлял собой консольную тензометрическую пластину с наклеенными на ней четырьмя тензорезисторами. Таким образом, датчики опорных реакций позволяли измерять отдельно верхнюю и нижнюю горизонтальные опорные реакции модели в направлении волнового потока при соединении в мост Уитстона двух из четырех тензорезисторов отдельно на верхней и нижней тензопластинах.

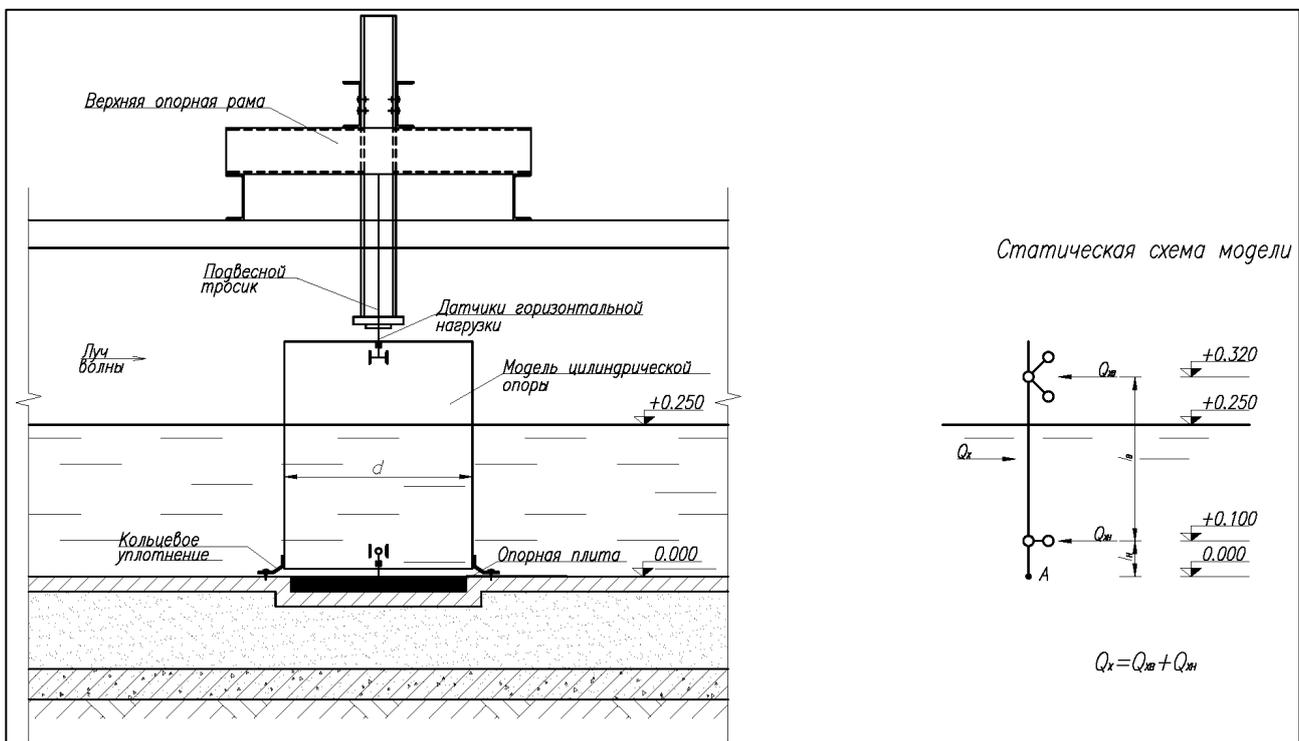


Рисунок 1. Схема модели цилиндрической опоры в волновом канале

Регистрация горизонтальной составляющей равнодействующей волновой нагрузки (Q_x) на опытную модель обеспечивалось путем непрерывного суммирования электрических сигналов верхнего и нижнего датчиков опорных реакций, которое производилось за счет параллельного соединения полумостов второй пары тензорезисторов этих датчиков.

Сигналы тензометрических датчиков усиливались и регистрировались электронно-измерительным комплексом. Волны в опытах с регулярным волнением возбуждались с периодами $T = 0.65 - 1,7$ сек., причём при каждом значении периода воспроизводились волны с двумя различными значениями высоты волны в пределах $h = 5 - 15$ см.

Методика проведения опытов по оценке влияния ширины канала на горизонтальную волновую нагрузку заключалась в синхронной и непрерывной записи показаний датчиков волновой нагрузки и волновых колебаний при постоянных волновых режимах и при переменной ширине волнового канала. Ширина канала изменялась в пределах $B = (2.0 - 6.6) d$, где d – диаметр модели. Длина реализации при исследованиях определялась прохождением 12-15 волн. Периодически проводились тарировка тензодатчиков и волномера.

Результаты опытов с цилиндрической моделью представлены в безразмерном виде в зависимости от параметра B/d – относительной ширины канала.

$$\bar{Q}_x^{max} = \frac{Q_x^{max}}{\gamma \cdot d^2 \cdot h}$$

где: Q_x^{max} – измеренная максимальная величина горизонтальной равнодействующей волновой нагрузки, d – диаметр опоры, h – высота волн.

По полученным в результате обработки данным были построены графики зависимости от относительной ширины волнового канала безразмерных максимальных горизонтальных сил для различных периодов (см. рис. 2).

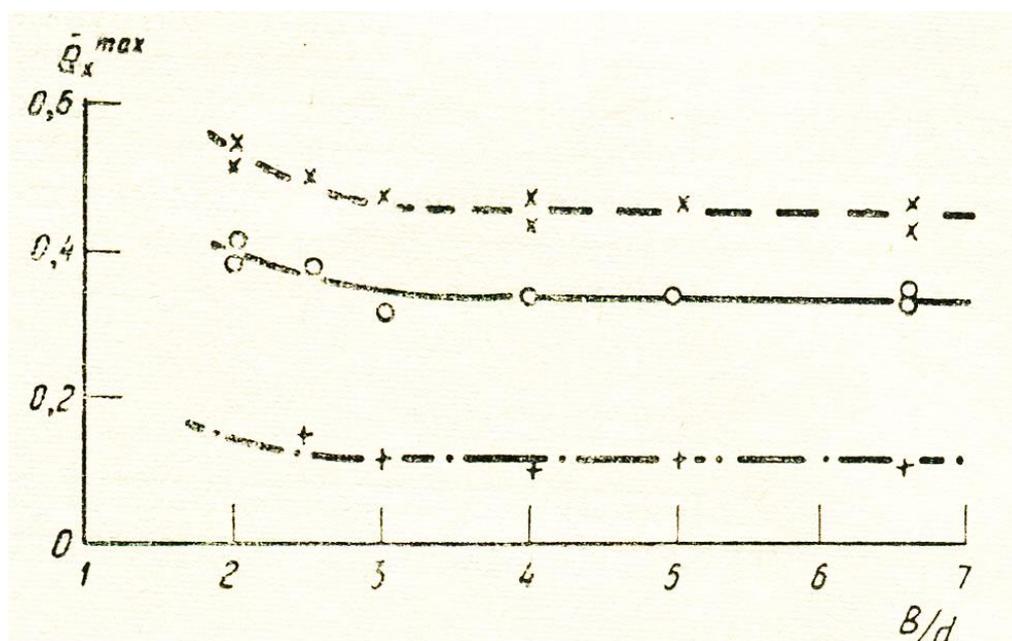


Рисунок 2. График зависимости волновых нагрузок от относительной ширины волнового канала

Анализ этих зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- при ширине волнового канала $B/d \geq 3,0$ величина горизонтальной волновой нагрузки на цилиндрическую опору остается постоянной;
- при ширине волнового канала $B/d < 3,0$ величина горизонтальной волновой нагрузки на цилиндрическую опору возрастает (из-за влияния стенок волнового канала);
- при измерении волновых нагрузок на вертикальный цилиндр при ширине волнового канала $B < 3,0 d$, следует вводить поправочный коэффициент влияния $K_{в.л}$, значения которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

Относительная ширина канала, B/d	Коэффициент влияния, $K_{вл}$
3,0	1,0
2,5	1,08
2,0	1,18

В опытах с конической моделью были получены идентичные результаты, при этом за расчетную ширину конической модели принимался диаметр на уровне спокойного горизонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иншакова Л.А., Красильников Н.И. Моделирование разрушения волн в жидкости // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.
2. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. М. Энергия. 1967.
3. Кантаржи И.Г., Мордвинцев К.П. Численное и физическое моделирование в МГСУ морских портовых гидротехнических сооружений. Наука и безопасность. 2015. № 2 (15). с. 2-16.
4. Кантаржи И.Г. Уточнение расчетных элементов волн и льда для определения нагрузок на морские гидротехнические сооружения на основе натурных наблюдений. Гидротехническое строительство. 2014. № 1. С. 21-33.
5. Левачев С.Н., Корчагин Е.А., Пиляев С.И., Кантаржи И.Г., Шурухин Л.А. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Ч.2. Порты и портовые сооружения. – М.: АСВ, 2015.
6. Пиляев С.И., Губина Н.А. Волновые расчеты при проектировании портов: учебное пособие. – МГСУ, 2010.
7. Пиляев С.И. Особенности моделирования волновых процессов на акваториях портов // Вестник МГСУ. – 2010. – №4. – Т.2. – С. 30-35.
8. Рогачко С.И., Пиляев С.И. Воздействие волн и льда на морские нефтегазопромысловые сооружения континентального шельфа: учебное пособие. – МГСУ, 2002.
9. Смирнов Г.Н., Кузьмин Г.П. Дифракция частично когерентного ветрового волнения на портовых оградительных сооружениях. Сборник трудов «Водное хозяйство, порты и портовые сооружения, объекты строительства на шельфе». МГСУ, 2002.
10. Tozer N.P., Smallman J.V. The Development and Application of a Computational Model of Directional Wave Transformation in Harbours. HYDRO-PORT' 94. Yokosuka, Japan, October 19-21, 1994.

Pilyaev Sergey Ivanovich

National research Moscow state construction university, Moscow, Russia
E-mail: monokap@mail.ru

Some features of modeling of massive ice-resistant supports of continental shelf structures

Abstract. The special place in the decision of problems of mastering of continental shelf of Russia occupies creation of marine platforms on ice-resistant grounds.

Presently the marine oil-fields are opened on considerable distances from a bank. At mastering of oil-and-gas bearing aquatoriums of freezing seas in the conditions of small depths (15-50 м) it is assumed to use marine platforms with supporting part as vertical cylindrical supports of large-break and bodies of rotation with the largenesses of cross-sectional (cone, monopod, flooded cylinder of and other). For storage of oil directly in the district of deposit in these cases it is expedient to build the large petroleum cylindrical reservoirs of large-break. Stability of such building from influence of waves is provided by their own weight and weighing oil products.

For the estimation of power influence of waves on such constructions theoretical and experimental researches are conducted. It is marked that during realization.

Keywords: marine platforms; shelf; models; cylinder; wave loading; researches; oil

REFERENCES

1. Inshakova L.A., Krasilnikov N.I. (2013). Modeling the destruction of waves in a liquid. *LAP LAMBERT Academic Publishing*. (in Russian).
2. Levi I.I. (1967). Modelirovanie gidravlicheskiх явлений. [*Modeling of hydraulic phenomena.*] Moscow: Energy.
3. Kantarzhi I.G., Mordvintsev K.P. (2015). Numerical and physical modeling in MSSU of sea port hydraulic structures. *Science and Security*, 2(15), pp. 2-16. (in Russian).
4. Kantarzhi I.G. (2014). Refinement of calculated elements of waves and ice to determine loads on marine hydraulic structures based on field observations. *Hydraulic engineering*, 1, pp. 21-33. (in Russian).
5. Levachev S.N., Korchagin E.A., Piliaev S.I., Kantarzhi I.G., Shurukhin L.A. (2015). Gidrosooruzheniia vodnykh putei, portov i kontinentalnogo shelfa. Chast 2. Porty i portovye sooruzheniia. [*Hydraulic installations of waterways, ports and the continental shelf. Ports and Port Facilities.*] Moscow: ASV.
6. Piliaev S.I., Gubina N.A. (2010). Volnovye raschety pri proektirovanii portov: uchebnoe posobie. [*Wave calculations in the design of ports: a tutorial.*] Moscow: Moscow State University of Civil Engineering.
7. Piliaev S.I. (2010). Features of simulation of wave processes in port water areas. *Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*, 4(2), pp. 30-35. (in Russian).
8. Rogachko S.I., Piliaev S.I. (2002). Vozdeistvie voln i lda na morskije neftegazopromyslovye sooruzheniia kontinentalnogo shelfa: uchebnoe posobie. [*Impact of waves and ice on offshore oil and gas facilities on the continental shelf: a textbook.*] Moscow: Moscow State University of Civil Engineering.
9. Smirnov G.N., Kuzmin G.P. (2002). Difraktsiia chastichno kogerentnogo vetrovogo volneniia na portovykh ograditelnykh sooruzheniiakh. Sbornik trudov «Vodnoe khoziaistvo, porty i portovye sooruzheniia, obiekty stroitelstva na shelfe». [*Diffraction of partially coherent wind waves on port fencing structures. Collection of works "Water management, ports and port facilities, construction sites on the shelf".*] Moscow: Moscow State University of Civil Engineering.
10. Tozer N.P., Smallman J.V. (1994). The Development and Application of a Computational Model of Directional Wave Transformation in Harbours. *HYDRO-PORT' 94*.