

Р.Б.Тагиров

*Севастопольский национальный технический университет, г.Севастополь***ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЗОК ОТ НЕЛИНЕЙНОГО ВОЛНЕНИЯ
НА СТАЦИОНАРНЫЕ МОРСКИЕ СООРУЖЕНИЯ
В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

Рассмотрен альтернативный способ определения волновых нагрузок от нелинейных волн на стационарные морские сооружения, расположенные на мелководье северного Каспия. Выполнен расчет волновых нагрузок от нелинейных волн на МБУ «ЛСП-1» (месторождение им. Юрия Корчагина) в северной части Каспийского моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *волновая нагрузка, ветровой режим, морские сооружения, Каспийское море.*

Важнейшей проблемой проектирования морских буровых установок (МБУ) является их устойчивость на грунте в условиях мелководья, а также учет влияния морских волн на опорное основание буровой установки. При размещении морских стационарных объектов на мелководье существует проблема учета влияния на них нелинейных морских волн. Эта проблема на сегодняшний день изучена недостаточно и поэтому в нормативных документах, таких как Правила Российского Морского Регистра Судоходства [1, 6] морского регистра Ллойда (Великобритания) [2] и других отсутствуют соответствующие рекомендации.

При освоении ресурсов северной части Каспийского моря проблема воздействия морских волн на МБУ становится актуальной т. к. во многих случаях волны приходят с юго-востока, имеют, как правило, значительный разгон и несут большую энергию [3]. Ранее исследования такого типа проводились государственным университетом ИТМО, ГНЦ РФ ААНИИ и ООО «Компания ИНФОМАР» и др. [4].

Наибольшее применение при математическом моделировании волновых полей получила модель SWAN, разработанная и внедренная в Дельфтском техническом университете (Нидерланды). Модель отличается достаточно высокой точностью по данным исследований ГУ ИТМО [5]. Эта модель была использована для определения границ применимости различных волновых теорий в условиях Северного Каспия. Для этого были построены волновые поля для трех характерных ситуаций: сильного, слабого и среднего ветра [2].

Для построения профиля скорости [9] использовалось выражение для горизонтальной составляющей скорости частиц жидкости из теории волн Стокса (1), поскольку в рассматриваемой ситуации она предпочтительнее, чем теория кноидальных волн:

$$v_x = \frac{\omega}{k} \sum_{n=1}^5 G_n \frac{ch \cdot nky}{sh \cdot nkh} \cos n(kx - \omega t). \quad (1)$$

Расчет волновых нагрузок и моментов выполнен в соответствии с требованиями «Правил классификации, постройки и оборудования плавучих

буровых установок и морских стационарных платформ» Российского Морского Регистра Судоходства [1].

Исходными данными являлись данные численного моделирования ветрового волнового режима данного района Каспийского моря представленные в [1, 2].

При определении волновых нагрузок на ЛСП-1 использована программа *ANCHORED STRUCTURES*, одобренная Российским Морским Регистром Судоходства и имеющая «Сертификат о типовом одобрении на программу для ЭВМ» № 07.00550.010 от 20 марта 2007 г. [7].

Предварительная панельная разбивка смоченной поверхности МБУ ЛСП-1 производилась с помощью программного комплекса *ANSYS* [13].

В рамках настоящей работы с помощью программного комплекса *ANCHORED STRUCTURES*, были выполнены расчеты волновых нагрузок по детерминированной и вероятностной модели.

Детерминированные расчеты выполнялись для вычисления волновых нагрузок от регулярных нелинейных волн конечной амплитуды. При этом использовалась методология теории функций тока 5-го порядка для построения волн конечной высоты и дифракционная теория для определения волновых нагрузок. Численное вычисление волновых нагрузок осуществлялось пространственным методом источников для 3-х мерной геометрической модели платформы. Следует отметить, что ряд составляющих волновой нагрузки: силы Крылова, дифракционные силы 1 порядка – вычислялись на основании строгого математического решения задачи, а дифракционные составляющие высших порядков – на основании приближенного ее решения [12].

Вероятностные расчеты выполнялись для определения волновых нагрузок от нерегулярных волн. Волновые нагрузки вычислялись по линейной дифракционной теории с помощью пространственного метода источников, как суперпозиция сил от элементарных составляющих спектра морского волнения. Все расчеты выполнены по спектру *JONSWAP* рекомендованному Международным Стандартом *ISO 19901-1* «Нефтегазовая промышленность. Особые требования к морским сооружениям. Часть 1 – Метеорологические и океанографические аспекты, учитываемые при расчете и эксплуатации», а также согласно ВЛТУ-2004 [9].

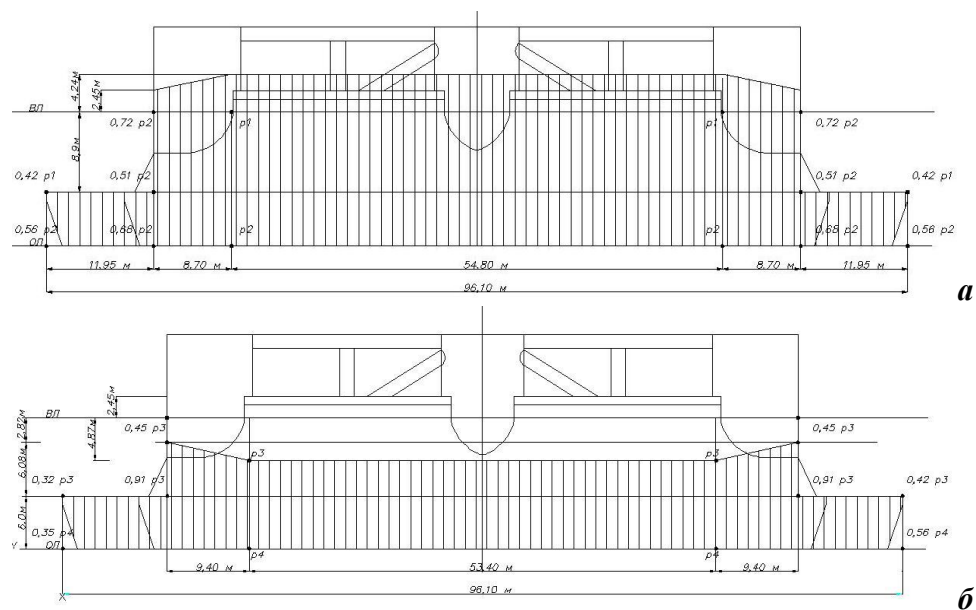
Расчет выполнен для двух направлений воздействия ветровой нагрузки: в борт и в нос ЛСП-1. Глубина моря в месте постановки ЛСП-1 составляет 11,2 м. Площадь подводной парусности установки для бортовой проекции составляет 1950 м²; для носовой проекции 900 м².

В результате расчета с использованием программы *ANCHORED STRUCTURES* были получены численные значения волновых давлений на опорное основание МБУ ЛСП-1 и распределения этих давлений на проекции лобовой и бортовой грани.

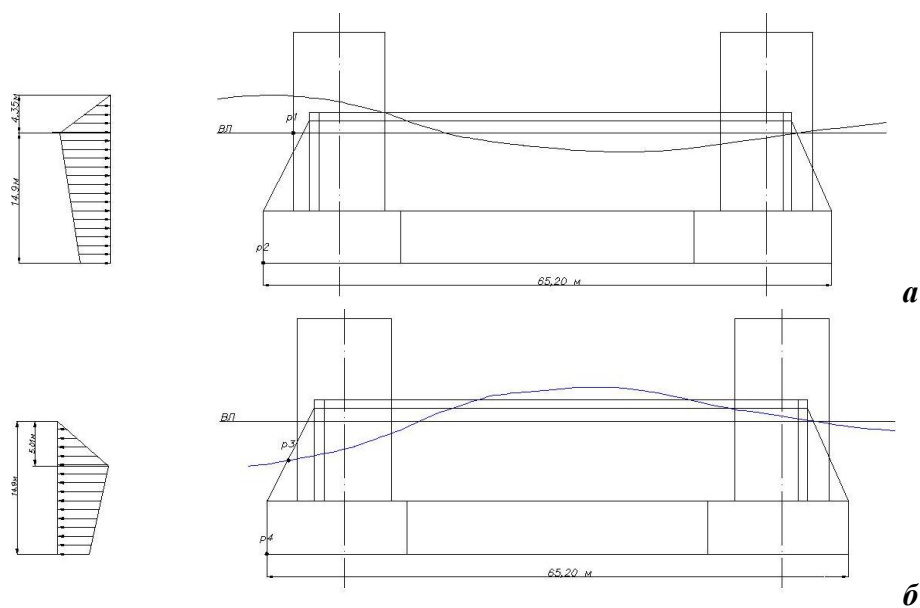
Результаты расчета представлены на рис.1 – 2.

Верификация данных показала (табл.1), что нагрузки от волнения снизились, в среднем на 20 – 22,9 % по сравнению с данными полученными ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева [8].

Выводы. Таким образом, численные расчеты волновых полей для условий центральной и северной частей Каспийского моря показали, что при трансформации волн, сформированных, главным образом, в центральной час-



Р и с . 1 . Распределение волновых давлений по фронту волны вдоль лобовой грани опорного основания ЛСП-1 при гребне волны $p_1 = 0,032$ МПа, $p_2 = 0,022$ МПа (а), при ложбине волны $p_3 = -0,033$ МПа, $p_4 = -0,027$ МПа (б).



Р и с . 2 . Гребень (а) и ложбина (б) волны у лобовой грани.

ти моря на глубинах 500 – 1000 м в волны мелководной части они приобретают особенности нелинейных волн конечной амплитуды, волн Стокса.

В результате расчета с помощью программного комплекса *ANCHORED STRUCTURES* для МБУ ЛСП-1 были определены: гидродинамические нагрузки 1 % обеспеченности; волновые нагрузки 1 % обеспеченности для волн имеющих ярковыраженную нелинейность, и описываемых теорией волн Стокса [11].

Т а б л и ц а 1. Сравнительные результаты расчетов величин нагрузок от воздействия нелинейных волн конечной амплитуды (волн Стокса) и нагрузок от волнения, рассчитанного по методикам ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева.

область приложения нагрузки	ВНИИГ	нелинейные волны конечной амплитуды (волны Стокса)	%
p_1	0,040	0,032	20
p_2	0,028	0,022	22,4
p_3	– 0,041	– 0,033	19,5
p_4	– 0,035	– 0,027	22,9

Сравнительный анализ полученных данных показал, что нелинейные волны конечной амплитуды (волны Стокса) оказывают на конструкцию меньшее (на $\approx 20\%$) воздействие, чем волны, подчиняющиеся линейной теории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ* / Российский Морской Регистр Судоходства.– С.-Пб., 2007.– С.452.
2. *Тагиров Р.Б.* Исследование ветро-волнового режима северной части Каспийского моря // Системы контроля окружающей среды средства информационные технологии и мониторинг.– Севастополь, 2009.– С.201.
3. <http://control.mnr.gov.ru/part/?act=print&id=426&pid=11>
4. *Временные локальные технические условия (ВЛТУ-2004).* Гидрометеорологические условия и исходные расчетные данные для проектирования объектов обустройства месторождения им.Ю.Корчагина.– Астрахань, М., С.-Пб., 2004.– 42 с.
5. *Федеральная целевая программа* // Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 гг.– М.: ГУ ИТМО, 2007.– С.10.
6. *Российский Морской Регистр Судоходства.* Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей.– С.-Пб., 2003.– 109 с.
7. *Большев А.С., Фролов С.А. и др.* Программа ANCHORED STRUCTURES.– С.-Пб., Ассоциация центров инжиниринга и автоматизации, 2002.– 250 с.
8. *Разработка раздела специальных технических условий (СТУ) для проектирования объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина.* Технический отчет.– С.-Пб., 2005.– 24 с.
9. *International standard ISO 19901-1. Petroleum and natural gas industries. Specific requirements for offshore structures. Part 1.–* Metocean design and operating considerations.– 23 с.
10. *Тагиров Р.Б.* Профили скорости нелинейных морских волн в мелководной части Каспийского моря // IV Всеукр. н.-техн. конф.– Севастополь, 2009.– С.155-158.
11. *Доусон Т.* Проектирование сооружений морского шельфа.– Л.: Судостроение, 1986.– 286 с.
12. *Большев А.С. и др.* Программный комплекс ANCHORED STRUCTURES. Пояснительная записка.– С.-Пб., 2007.– 213 с.
13. *Большев А.С. и др.* Программный комплекс ANCHORED STRUCTURES. Руководство пользователя.– С.-Пб., 2007.– 173 с.

Материал поступил в редакцию 05.09.2010 г.