

ДИФРАКЦИЯ ВОЛН ОПОРАМИ САМОПОДЪЁМНЫХ И ПОЛУПОГРУЖНЫХ УСТАНОВОК

С.В. Фёдоров

Севастопольский государственный
технический университет
г. Севастополь, Стрелецкая бухта,
Студенческий городок.
E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

Рассматривается проблема оценки экстремальных волновых нагрузок на систему расположенных на некотором расстоянии опор буровых установок с учётом явления дифракции. Производится масштабная оценка области применимости уравнения Морисона.

В настоящее время страны, ведущие добычу полезных ископаемых на континентальном шельфе, всё чаще разрабатывают глубоководные месторождения, и даже те месторождения морских энергоресурсов, казавшиеся ещё недавно недоступными, уже сегодня успешно эксплуатируются.

При разработках глубоководных месторождений используются плавучие буровые установки для разведочного и эксплуатационного бурения, способные длительное время надёжно эксплуатироваться в суровых океанских условиях. В мировой практике известны случаи постройки буровых установок грузоподъёмностью более 120 тыс. тонн и с глубиной постановки у самоподъёмных буровых установок СПБУ до 150 м, у полупогруженых буровых установок ППБУ до 3000 м.

Проблема определения экстремальных нагрузок на опоры буровых установок в настоящее время не изучена в полной мере. Одним из неясных вопросов является дифракция волнового потока системой вертикальных опор буровых установок. Под *дифракцией* понимается изменение профиля скорости набегающего потока обтекаемой им преграды. Как показано в [1] волновые нагрузки с учётом дифракции значительно превышают их величины без её учёта.

Явление дифракции наблюдается также, когда размеры опорных оснований достигают больших значений (около 10 м и более). В этом случае,

предположение о том, что обтекаемая волновым потоком преграда не вызывает изменения его профиля, не выполняется. А именно на этом предположении основывается формула Моррисона, которая традиционно используется для оценки экстремальных волновых нагрузок на опоры буровых установок.

Таким образом, проблема дифракции является весьма актуальной. Тем не менее, несмотря на развитие математической теории дифракции морских волн [1,3], а так же на ряд проведённых экспериментальных исследований в этой области [2], до сих пор не существует понятной и общепринятой методики расчёта ветро-волновых нагрузок на опоры буровых установок с учётом дифракции. Более того, в отечественных и зарубежных классификационных требованиях по постройке и эксплуатации буровых установок не указывается каким образом могут оказывать влияние на профиль скоростей волнового течения и волновые нагрузки расположенные на некотором расстоянии друг от друга опоры буровой установки.

Первым шагом на пути решения указанной проблемы является приближённая оценка расстояния, на котором опоры буровых установок оказывают влияние друг на друга.

С этой целью, основываясь на основном предположении математической теории дифракции, представим потенциал скорости через сумму потенциала набегающей жидкости Φ_1 и отражённого потенциала Φ_S . При этом отражённый потенциал Φ_S должен удовлетворять условиям Гельмгольца [1]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \Phi_S}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi_S}{\partial r^2} + k^2 \Phi_S = 0 \quad (1)$$

где r – радиус – вектор от центра опоры до произвольной точки пространства; Φ_S – отражённый потенциал; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число.

Допустим, что расстояние, на котором отражённый потенциал достигает максимальной величины, равно L . Для оценки этой величины приведём параметры, входящие в уравнение (1) к безразмерной форме:

$$r = r_* L, \quad \theta = 2\pi\theta_*, \quad \Phi_S = \frac{L^2}{T} \Phi_* \quad (2)$$

После подстановки выражений (2) в уравнение (1) получим, что расстояние L равно:

$$L = \frac{\lambda}{\sqrt{2\pi}} \approx \frac{1}{5} \lambda \quad (3)$$

Это означает, что действие отраженных и перенаправленных волн не будет существенно сказываться на расстояниях, больших 0.2 длины волны.

При расчёте экстремальных волновых нагрузок на опорные основания буровых установок обычно принимают длину наибольших волн равными 120 – 150м. Следовательно, расстояние L составляет 25–30м. В таком случае при расстоянии между опорами, меньшем $2L$ (т.е. 50–60м), можно говорить об их взаимном влиянии.

Рассмотрим характеристики некоторых буровых установок, спроектированных ОАО «ЦКБ «Коралл», которое является проектантом буровых установок, используемых Российской Федерацией для разработки месторождений в северных морях и на Каспии.

Таблица 1 - Характеристики опор буровых установок (БУ)

Проект	Тип БУ	Кол-во опор	Расстояния между опорами, м
1540	СПБУ	4	$L_x=37.8$ $L_y=35.4$
15402	СПБУ	3	$L_x=65$ $L_y=40$
10170	ППБУ	6	$L_x=37.8$ $L_y=35.4$

Как видно из табл. 1 расстояния между опорами находящихся в эксплуатации буровых установок меньше величины, на которой опоры не оказывают влияния друг на друга. А, следовательно, оценка волновых нагрузок на опоры должна производиться с учётом дифракции волнового потока.

Решение этого вопроса возможно с помощью математического моделирования. Задача определения волновых нагрузок относится к краевой задаче и

сводится к нахождению компонент потенциала скорости Φ_l и Φ_s , которые должны удовлетворять следующим граничным условиям: в любой точке жидкости – уравнению (4), на свободной поверхности – уравнению (5), на дне и поверхности опоры – уравнению (6).

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad (6)$$

Суммарный потенциал Φ дополнительно должен удовлетворять условию Соммерфельда:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial r} - rk\Phi \right) = 0 \quad (7)$$

На основании сформулированной математической модели следует получить следующие результаты:

1. Определить нагрузки на систему опор буровых установок больших диаметров, расположенных друг от друга на некотором расстоянии.
2. Определить на каком расстоянии влияет на напряжённое состояние опор их взаимное расположение.
3. Получить величины коэффициентов присоединённых масс с учётом дифракции и сравнить их с величинами, указанными в проектных нормах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезов И. Т., Сидорчук В. Н., Яковлев В. В. Трансформация волн в прибрежной зоне шельфа. – К.: Наукова думка. – 1983г.
2. V. Sundar, S. Neelamani and C. P. Vendhan Diffracted wave field and dynamic pressures around a vertical cylinder // Ocean Engn. – 1990. – Vol.17. – №1/2. - pp.125-154.
3. A. Kareem, A. N. Williams and C. C. Hsieh Diffraction of nonlinear random waves by a vertical cylinder in deep water // Ocean Engn. –1994. - Vol.21. - №2. - pp.129-154.