

УДК 629.5.017.2

## Расчёт постоянных составляющих силового воздействия регулярного волнения на судно "Бавенит"

Ю.И. Юдин, А.Б. Грабаровский

Морская академия МГТУ, кафедра судовождения

**Аннотация.** Представлен способ расчёта постоянных составляющих силового воздействия регулярного волнения на судно "Бавенит". Полученные результаты расчёта показаны в графической форме. Разработанные расчётные зависимости могут быть использованы при моделировании процесса удержания бурового судна на точке.

**Abstract.** The way of calculation of constant components of power impact of regular sea on the vessel "Bavenit" has been presented. The results have been presented graphically. The developed calculated dependencies may be used for modeling process of drill ship positioning on a point.

**Ключевые слова:** безопасность эксплуатации, гидродинамические воздействия, расчёт усилий, коэффициент, момент, двумерная функция

**Key words:** safety of operation, hydrodynamic influence, calculation of efforts, coefficient, moment, two-dimensional function

### 1. Введение

Осуществляемое в настоящее время активное освоение природных ресурсов морского шельфа Российской Федерации предусматривает выполнение буровых работ специализированными судами. Данные работы являются потенциально опасными и требуют детального изучения поведения бурового судна в процессе осуществления бурения, особенно если оно выполняется в сложных климатических условиях.

На сегодняшний день подготовка и проведение работ по геологоразведочному бурению осуществляется в Карском и Баренцевом морях, характеризующихся неблагоприятными климатическими условиями. В связи с этим требуется детально изучить поведение судна в процессе выполнения им буровых работ, с целью определения безопасных режимов их осуществления при различном сочетании факторов, характеризующих состояние внешней среды в районе выполнения работ.

В качестве одного из наиболее значимых факторов внешней среды, существенно влияющих на безопасность выполнения буровых работ, следует рассматривать морское волнение, вероятность возникновения которого весьма высока. Для того чтобы оценить безопасность выполнения буровых работ в условиях волнения, необходимо провести соответствующие исследования, связанные с оценкой поведения судна, находящегося под воздействием морского волнения. В качестве одного из способов такого исследования следует рассматривать проведение натурных экспериментов. Однако такой способ исследований требует больших материальных и финансовых затрат, что неоправданно с экономической точки зрения. Менее затратным, но более эффективным способом исследования в данном случае следует признать способ математического моделирования с использованием математической модели позиционирующего судна с учётом внешнего воздействия, включая воздействие волнения.

Реальное волнение, как правило, нерегулярное. Тем не менее, при моделировании воздействия нерегулярного волнения на судно сначала рассматривается воздействие регулярного волнения на судно. Таким образом, расчёт постоянных составляющих силового воздействия регулярного волнения является одним из неотъемлемых этапов при оценке безопасности работы бурового судна при выполнении им буровых работ.

### 2. Расчёт постоянных составляющих силового воздействия регулярного волнения на судно "Бавенит"

Силовые составляющие от действия регулярного волнения находятся с помощью группы формул, которые по структуре похожи на формулы для гидродинамических или аэродинамических усилий (Хаскинд, 1959; Справочник..., 1985а):

$$\begin{aligned} R_{wx} &= 0,5C_{wx} \times \rho \times g \times \zeta_w^2 \times L; \\ R_{wy} &= 0,5C_{wy} \times \rho \times g \times \zeta_w^2 \times L; \\ M_w &= 0,5C_{wm} \times \rho \times g \times \zeta_w^2 \times L^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\zeta_w$  – амплитуда регулярного волнения;  $C_{wx}$ ,  $C_{wy}$ ,  $C_{wm}$  – коэффициенты продольной и поперечной составляющих воздействия регулярного волнения и её момента.

Эти коэффициенты должны определяться экспериментально на натуре или моделях и затем переноситься на конкретное судно, с использованием принципов теории подобия. Однако результатов таких экспериментов известно крайне мало. Поэтому в подобных расчётах используются результаты, приведённые на рис. 1, для судна объёмным водоизмещением 18 000 м<sup>3</sup> и полнотой водоизмещения 0.58 (Справочник..., 1985b). Эти результаты приведены только для курсовых углов волнения  $q_w$  от 0° до 90° при счёте от ДП в направлении от кормы к носу. Распространим эти результаты на диапазон углов от 0° до 180° по принципу симметричного отражения относительно миделя поперечного усилия и асимметричного для продольного усилия и момента.

Изображённые на рис. 1 экспериментальные кривые были оцифрованы и аппроксимированы кубическими полиномами в среде MathCad. Результаты этих аппроксимаций приведены в табличной форме в виде коэффициентов при степенях относительной длины волны  $\lambda/L$ .

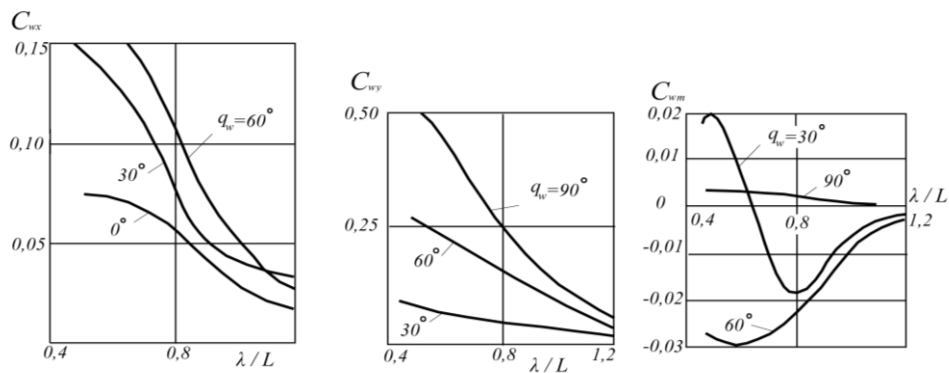


Рис. 1. Экспериментальные значения коэффициентов постоянных составляющих усилий от действия регулярного волнения

Коэффициент  $C_{wx}$ . Полиномы заданы коэффициентами  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  для трёх кривых, показан принцип отражения полинома – смена знака для углов, дополняющих  $q_w$  до 180°.

Таблица 1

$q_w$	$A$ (1)	$B$ ( $\lambda$ )	$C$ ( $\lambda^2$ )	$D$ ( $\lambda^3$ )
0° (180° "–")	–0.088	0.677	–0.872	0.214
30° (150° "–")	0.029	0.740	–1.298	0.571
60° (120° "–")	0.014	0.896	–1.442	0.586

С целью получения аналитических выражений для коэффициента  $C_{wx}$  в виде двумерной функции одновременно по переменным  $\lambda$  и  $q_w$  найденные коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  были аппроксимированы также в виде кубических зависимостей по углу  $q_w$  в радианах. Это дало четыре полинома третьего порядка, которые показаны своими коэффициентами в табличной форме.

Таблица 2

Для $C_{wx}$	1	$q_w$	$q_w^2$	$q_w^3$
$A$	–0.088	0.434	–0.483	0.154
$B$	0.677	–0.697	2.258	–1.33
$C$	–0.872	–0.253	–1.864	1.514
$D$	0.214	0.844	–0.151	–0.301

В результате аппроксимации получили двумерную функцию для коэффициента  $C_{wx}$ :

$$C_{wx}(\lambda, q_w) = A(q_w) + B(q_w) \times \lambda + C(q_w) \times \lambda^2 + D(q_w) \times \lambda^3. \quad (2)$$

Коэффициент  $C_{wy}$ . Приведён также в табличной форме как результат аппроксимации, подобно коэффициенту  $C_{wx}$ .

Таблица 3

$q_w$	A (1)	B ( $\lambda$ )	C ( $\lambda^2$ )	D ( $\lambda^3$ )
30° (150° "–")	0.213	-0.362	0.227	-0.055
60° (120° "–")	0.347	$7.6 \times 10^{-3}$	-0.459	0.142
90°	1.315	-2.074	1.099	-0.204

Таблица 4

Для $C_{wy}$	$q_w$	$q_w^2$	$q_w^3$
A	1.064	-1.809	1.06
B	-3.416	7.14	-3.696
C	3.315	-7.424	3.666
D	-0.998	2.284	-1.103

Двумерная аппроксимирующая функция для коэффициента  $C_{wy}$ :

$$C_{wy}(\lambda, q_w) = A(q_w) + B(q_w) \times \lambda + C(q_w) \times \lambda^2 + D(q_w) \times \lambda^3. \quad (3)$$

Коэффициент момента  $C_{wm}$  аппроксимируется наиболее сложно, что связано с характером экспериментальных кривых (рис. 1, правый график).

Таблица 5

$q_w$	A (1)	B ( $\lambda$ )	C ( $\lambda^2$ )	D ( $\lambda^3$ )
30° (150° "–")	0.213	-0.362	0.227	-0.055
60° (120° "–")	0.347	$7.6 \times 10^{-3}$	-0.459	0.142
90°	1.315	-2.074	1.099	-0.204

Двумерная аппроксимирующая функция для коэффициента  $C_{wm}$ :

$$C_{wm}(\lambda, q_w) = A(q_w) + B(q_w) \times \lambda + C(q_w) \times \lambda^2 + D(q_w) \times \lambda^3. \quad (4)$$

Таблица 6

Для $C_{wm}$	$q_w$	$q_w^2$	$q_w^3$
A	1.647	-2.388	0.85
B	-4.609	5.997	-1.934
C	4.09	-4.745	1.341
D	-1.157	1.16	-0.26

Произведём расчёт этих усилий для развитого волнения, вызванного ветром со скоростью  $v_a = 15$  м/с. Воспользуемся формулами, которые связывают основные параметры волнения:

$$\begin{aligned} v_a &= -0.749 + 1.346 \times B + 0.137 \times B^2; \\ h &= 0.625 - 0.52 \times B + 0.17 \times B^2 - 0.00317 \times B^3; \\ \lambda &= 2.07 - 2.787 \times B + 1.014 \times B^2 + 0.12 \times B^3; \end{aligned} \quad (5)$$

$$B = -0.846 + 0.477 \times v_a - 0.004881 \times v_a^2. \quad (6)$$

Воспользуемся данными формулами для  $v_a = 15$  м/с. Получим:

$$B = 7 \text{ бал.}, h = 4 \text{ м}, \lambda = 70 \text{ м}, \lambda = 0.8.$$

Результаты позволяют произвести расчёт усилий с помощью группы формул (2-4). На рис. 2, на основе предыдущих аппроксимаций, представлены результаты расчёта этих усилий и момента для длины волны  $\lambda$ , равной 0.8 для судна "Бавенит".

### 3. Заключение

В данной статье сформулирован и представлен способ расчёта постоянных составляющих силового воздействия регулярного волнения на буровое судно. Показанные графические материалы свидетельствуют об адекватности разработанных авторами зависимостей и могут быть использованы при выполнении математического моделирования процесса позиционирования судна в условиях морского волнения.

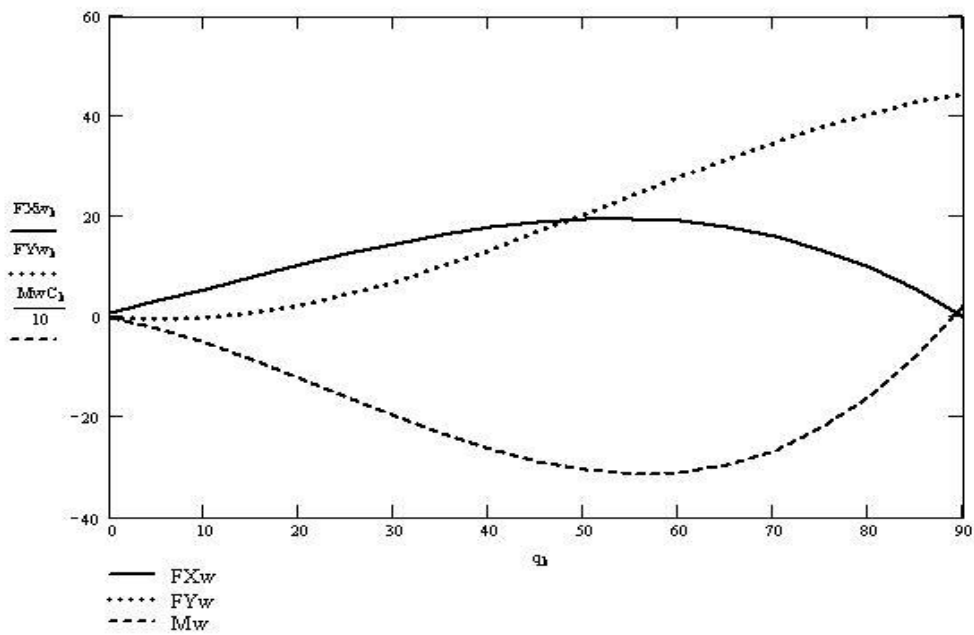


Рис. 2. Результаты расчёта продольного, поперечного усилий и момента постоянной составляющей волнового воздействия на судно "Бавенит": параметры внешней среды:  $\bar{v}_a = 15$  м/с,  $B = 7$  бал.,  $\bar{\lambda} = 0.8$

### Литература

- Справочник по теории корабля. В 3 т. Под ред. Я.И. Войткунского. Л., Судостроение, т. 1, 762 с., 1985а.  
 Справочник по теории корабля. В 3 т. Под ред. Я.И. Войткунского. Л., Судостроение, т. 3, 541 с., 1985б.  
 Хаскинд М.Д. Теория сопротивления при движении судна на волнении. Изв. АН СССР, № 2, с. 46-56, 1959.