

В.Н. Савинов
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
НЕСАМОХОДНОГО ПЛАВУЧЕГО КРАНА

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева

Строительство стационарных, самоподъемных и других видов буровых платформ, предназначенных для ведения разведки и добычи углеводородного сырья в море, ведется с использованием плавучих кранов. Ограниченные сведения по проектированию плавкранов за рубежом и отсутствие достаточного отечественного опыта не позволяют разработать надежную методику их расчета. Цель работы – определить характеристики плавучего крана на ранней стадии проекта используя обобщенные зависимости, предложенные В.Г. Зиньковским – Горбатенко и Е.А. Кравцовым. В расчетах использованы статистические зависимости для определения, близких к оптимальным, значений характеристик проектируемого объекта и реальных интервалов их изменения. Результаты расчета показали соответствие исходным требованиям на плавучий кран грузоподъемностью 500 т, близость к характеристикам эксплуатирующихся плавучих кранов, а использованный подход в сочетании с выбранным прототипом применим для проектирования самоходных и несамоходных крановых плавучих сооружений.

Ключевые слова: морские буровые платформы, плавучий кран, проектирование, главные размерения, расчеты.

Введение

Наиболее распространенными средствами морской добычи нефти и газа являются стационарные буровые установки, самоподъемные буровые платформы, полупогружные плавучие буровые установки, буровые надводные и подводные суда [1]. Для их постройки на судостроительных предприятиях и обслуживания в море, а также для ведения гидротехнического строительства на морских и речных акваториях востребованы плавучие краны. Новые технологии в судостроении для сокращения сроков строительства используют укрупненные сборочно-монтажные и строительно-монтажные единицы, масса которых измеряется сотнями тонн. Ведение строительных работ в этом случае возможно лишь с использованием плавучих кранов и крановых судов большой грузоподъемности. Поэтому их проектирование и строительство являются актуальными, востребованными временем и развивающимися мощностями судостроительных предприятий. В то же время скудные сведения по проектированию плавкранов в зарубежной печати и отсутствие достаточного отечественного опыта в этой области не позволяют разработать надежную методику расчета плавкранов, затрудняя процесс проектирования. Цель работы – определить характеристики плавучего крана на ранней стадии проекта, используя обобщенные зависимости, предложенные В.Г. Зиньковским-Горбатенко и Е.А. Кравцовым [2] и оценить возможности предлагаемого подхода.

Теоретический анализ и методический подход к решению задачи

Обзор литературных источников по плавучим крановым сооружениям показал, что имеются отдельные данные по построенным плавучим кранам с полноповоротным верхним строением, не имеющим противокреновых систем, а также по краново-монтажным судам с полноповоротными верхними строениями имеющими противокреновые системы. Конструктивные отличия этих объектов судостроения оказывают влияние на процессы проектирования. Так плавучие краны проектируются как сооружения минимальных размеров, необходимых для проведения грузовых операций и перевозки палубного груза.

Краново-монтажные суда выполняют определенные технологические функции, в которых грузовые операции выступают как обеспечивающие. Принадлежность кранового плавучего сооружения к тому или иному типу принято определять, используя граничное соотношение $(L-B)=45$ м. При $(L-B)<45$ м сооружение проектируют как плавкран. Если $(L-B)>45$ м, то сооружение проектируется как краново-монтажное судно [2].

Характеристики плавучего крана $L, B, T, \delta, D, (Z_g - T), \dots, \tau_\Theta$ зависят от ряда параметров. Наиболее существенными являются грузоподъемность главных гаков Q , полезный вылет A_Γ и высота подъема груза над водой H_Γ . Влияние на различия в вариантах проекта других параметров, в том числе нормативных, незначительно. Таким образом, в [2] решается задача отыскания некоторой функции регрессии и оценки возможных отклонений от нее по данным выборки из относительно небольшого числа плавкранов, находящихся в эксплуатации. Отклонение от функции регрессии измеряется не среднеквадратическими, а предельными значениями, так как проектные характеристики изменяются в ограниченных интервалах. Известно, что устойчивость статистических оценок повышается с уменьшением числа параметров, которая достигается за счет перехода к безразмерной форме зависимостей, связывающих искомые характеристики и параметры. Другими словами, исходные зависимости, записанные в виде

$$\left. \begin{array}{l} L \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_g - T \\ \cdot \\ \cdot \\ \tau_\Theta \end{array} \right\} = f(\rho, g, Q, R, H_\Gamma, \dots), \quad (1)$$

где ρ, g – плотность воды и ускорение силы тяжести; $R=A_\Gamma+B/2$ – полный вылет главного подъема. Используя масштабы массы $[Q]$ в тоннах, длины $[(Q/\rho)^{1/3}]$ в метрах и времени $[(Q/\rho g^3)^{1/6}]$ в секундах выражение (1) преобразуется к безразмерному виду. Опуская для простоты размерные константы (ρ, g) выражение (1) принимает вид

$$\left. \begin{array}{l} L/Q^{1/3} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \tau_\Theta/Q^{1/6} \end{array} \right\} = F(R/Q^{1/3}, H_\Gamma/Q^{1/3}, \dots) \quad (2)$$

Статистический анализ зависимостей (2) показал, что функцию F целесообразно искать в ряду степенных функций

$$\left. \begin{array}{l} L/Q^{1/3} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \tau_\Theta \end{array} \right\} = C(R/Q^{1/3})^n (H_\Gamma/Q^{1/3})^m \times \dots$$

Исключением являются зависимости, имеющие физические ограничения предельных значений, например, $\delta \leq 1$. В таких случаях класс функций подбирается индивидуально.

Выявленная коррелированность параметров $R/Q^{1/3}$ и $H_r/Q^{1/3}$, отражающая их связь между собой, применительно к плавкранам имеет вид $H_r/Q^{1/3} = 1,7 \frac{R}{Q^{1/3}} (\frac{1}{1,5} \dots 1,5)$.

Дальнейший анализ проводился с учетом параметра $R/Q^{1/3}$. Исключение составила характеристика $Z_g - T/Q^{1/3}$, так как влияние $H_r/Q^{1/3}$ на нее оказалось существенным. Результаты представлены в виде медианной функции регрессии, умноженной на величину, указывающую предельные отклонения от функции регрессии в долях от значений последней. Например, для относительной ширины плавкрана

$$B/Q^{1/3} = 2,66(R/Q^{1/3})^{1/3} (1/1,1 \dots 1,1),$$

т.е. для половины всех плавкранов значение $B/Q^{1/3}$ меньше медианной функции регрессии $2,66(R/Q^{1/3})^{1/3}$ а для другой половины – больше. Для упрощения ведения расчетов в [2] представлены графики, позволяющие определить искомую характеристику B и оценить предельные значения этой характеристики, а так же установить более точные значения отношения $B/Q^{1/3}$.

Относительное водоизмещение плавкрана определяется по формуле

$$D/Q = 2,68(R/Q^{1/3})^{7/6} (\frac{1}{1,2} \dots 1,2) \quad (3)$$

Для уменьшения корреляции некоторых характеристик использованы их отношения. Так

$$T\delta/B = 0,0677 (R/Q^{1/3})^{1/6} (\frac{1}{1,15} \dots 1,15) \quad (4)$$

Поскольку анализ показал, что

$$L/B = 2,07 (\frac{1}{1,3} \dots 1,3) \quad (5)$$

а

$$T\delta = D/\rho LB, \quad (6)$$

то область допустимых комбинаций значений $T\delta, D$ лежит в полосе

$$T\delta(D) = 0,483 \frac{D}{\rho B^2} (\frac{1}{1,3} \dots 1,3)$$

и ограничена значениями $T\delta$ по зависимостям (4), (6), а D – по зависимости (3).

Область встречающихся комбинаций δ, T по (4) лежит в полосе

$$\delta(T) = 0,0677 \frac{B}{T} (R/Q^{1/3})^{1/6} (\frac{1}{1,15} \dots 1,15),$$

ограниченной относительными осадками

$$T/Q^{1/3} = 0,46 (\frac{1}{1,21} \dots 1,22) \quad (7)$$

и коэффициентами полноты водоизмещения

$$\delta = \begin{cases} [1 - \exp(-0,391R/Q^{1/3})] (\frac{1}{1,2} \dots 1,2); \\ \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

Оценку отношения H/B можно провести по следующей формуле

$$H/B = 0,178 (\frac{1}{1,17} \dots 1,17).$$

Для анализа устойчивости плавучего крана вычисляются аппликата центра тяжести Z_g и период бортовой качки по формулам

$$\frac{Z_g - T}{H_r} = 0,7(R/Q^{1/3})^{-7/9} \left(\frac{1}{1,2} \dots 1,2\right); \quad (9)$$

и

$$\frac{\tau_{\Theta}}{Q^{1/6}} = 0,63 \frac{BD_1^{1/2}}{Q^{19/36} R^{11/12}} \left(\frac{1}{1,1} \dots 1,1\right) \quad (10)$$

Формула (10) относится к случаю «плавкран после обрыва груза», т.е. со стрелой на борт, но без груза на гаке, т. е. при $D_l = D - Q$.

Исходные требования и результаты расчетов

Для увеличения построечных мощностей и возможности применения более совершенной технологии ведения монтажно-сборочных работ на Астраханском судостроительном заводе им. III Интернационала перед конструкторами поставлена задача: спроектировать и построить относительно недорогой морской плавучий несамходный неповоротный плавучий кран грузоподъемностью на основном гаке не менее 500 т и на вантовой стреле 170 т с высотой подъема 130 м. В качестве конструктивного прототипа рекомендовано принять несамходный плавучий кран с неповоротным верхним строением грузоподъемностью 1400 т (проект 19610). Проектирование и строительство плавкрана должно проводиться под наблюдением Морского Регистра Судоходства РФ. Строительство плавкрана предполагается вести на заводе «Красное Сормово» и, впоследствии, в готовом для работы состоянии транспортировать к месту эксплуатации. В этой связи, поставлены следующие условия, которые необходимо выполнить для обеспечения безаварийной буксировки транспортного ордера (состава), а именно:

- транспортную осадку принять не более 3,6 м;
- выход в открытое море обеспечить в сопровождении буксиров. Район плавания ПСП согласно классификации Российского Речного Регистра [3, 4, 5];
- габаритную высоту над водой в транспортном положении принять не более 13,5 м, а габаритную ширину плавучего крана не более 29 м;
- в транспортном положении со сложенной стрелой длина «каравана» (с транспортной баржей) не должна превышать 240 м.

На основании исходных требований можно охарактеризовать класс судна по Российскому Речному Регистру: К★Л4[1]ПСП – это плавучий несамходный кран с неповоротным верхним строением, построенный по Правилам и под надзором Регистра, имеющий ледовые усиления для возможности эпизодического плавания в мелкобитом льду в прибрежных районах замерзающих южных морей и рек, удовлетворяет требованиям части V «Деление на отсеки», в результате чего плавучий кран остается на плаву в удовлетворительном состоянии равновесия при затоплении одного отсека. Его назначение: выполнение грузовых операций на защищенной от волн акватории и при воздействии ветра, силой не более 5-ти баллов. Районы эксплуатации и условия перехода: плавкран проводит грузовые операции на защищенных от волн заводских, портовых, рейдовых акваториях и при отсутствии волнения в условиях реки; буксировка плавкрана осуществляется в сопровождении буксиров ниточным составом со сложенной на дополнительное транспортное плавсредство стрелой при переходе внутренними водными путями и со стрелой, поднятой на угол 25^0 при волнении моря не более 3-х баллов и силе ветра не более 6-и баллов. Район плавания – ПСП (плавание на внутренних водных путях, а также в морских районах на волнении не более 6-и баллов и с удалением от места убежища в закрытых морях до 100 миль, с допустимым расстоянием между двумя местами убежища до 200 миль). Содержит: главный подъем с двумя отдельными механизмами, каждый со своим гаком; вспомогательный подъем с двумя отдельными механизмами, каждый со своим гаком.

Используя, статистические данные по проектированию тяжелых плавучих кранов и проводя приближенные расчеты по методике В.Г. Зиньковского-Горбатенко, были получены главные размерения плавучего крана грузоподъемностью 500 т (табл.1), отвечающие исходным требованиям. В таблице 2 приведены сравнительные характеристики эксплуатирующихся тяжелых плавучих кранов. Сопоставление характеристик, полученных расчетом, с характеристиками построенных плавкранов показывает их удовлетворительное соответствие.

Таблица 1

Рассчитанные характеристики плавучего крана грузоподъемностью 500 т

Характеристики плавкрана	Обозначение	Размерность	Численная величина
Длина	L	м	60,0
Ширина	B	м	28,0
Высота борта	H	м	6,0
Осадка средняя рабочая	T _{ср. раб.}	м	4,0
Осадка средняя порожнем	T _{ср. пор.}	м	2,0
Коэффициент общей полноты	δ	-	0,950
Коэффициент полноты ватерлинии	$\alpha_{вл}$	-	0,990
Коэффициент полноты шпангоута	$\beta_{вл}$	-	0,990
Весовое водоизмещение порожнем	D _{пор}	т	3300
Весовое водоизмещение в рабочем состоянии	D _{раб}	т	6600
Период бортовой качки	τ_{Θ}	с	5,6
Аппликата центра тяжести (без груза на гаке)	Z _g	м	12,0

Таблица 2

Сравнительные характеристики современных тяжелых плавучих кранов

Характеристики плавучих кранов	Название плавучего крана, страна-строитель, год постройки					
	«Слава Севастополя», СССР, 1983	«Брабо», ФРГ, 1982	«Енказ», ФРГ, 1982	«Магнус», HDW, ФРГ	«Богатырь-М», СССР	«Волгарь», СССР
Грузоподъемность, т	500	800	500	800	500	1400
Гл. размерения, м:						
длина	65,2	60,0	61,0	54,0	65,2	85,6
ширина	25,8	27,5	26,6	24,0	25,85	33,6
высота борта	5,4	6,0	5,5	4,2	5,4	7,0
осадка	3,3	2,8	3,5	-	3,3	4,2
Водоизмещение порожнем, т	3025	2600	2920	-	3025	5880
Количество тдвигателей, шт	2	2	2	-	-	Несамостоятельный
Тип ЭУ	ДЭлектрич.	-	-	-	ДЭлектрич.	ДЭлектрич.
Марка главных ДГ	ДГР 1000/750	-	-	-	6ДГ50М	ДГР 500/500
Количество и мощность ДГ, кВт	2*1000 1*500	- -	- -	- -	2*700 -	2*500 1*320
Скорость, уз	9,3	8,0	7,0	-	-	Несамостоятельный.

Выводы

Характеристики плавучего крана грузоподъемностью 500 тонн, полученные в результате расчета по методике [2], близки к реальным. Это следует из сравнения данных таблиц 1 и 2. На последующих стадиях проектирования они будут уточнены при решении частных вопросов проекта. Статистические зависимости, предложенные для оценки главных размерений плавучих кранов авторами [2], позволяют решить поставленную задачу при удовлетворении требований остойчивости. Накопление статистических данных позволит уточнить и расширить область применения статистических формул расчета.

Библиографический список

1. Савинов, В.Н. Океанотехника. Технические средства освоения континентального шельфа: учеб. пособие [Текст] /В.Н. Савинов; НГТУ им. Р.Е. Алексева. – Н. Новгород, 2008. – 174 с.
2. Зиньковский-Горбатенко, В.Г. Обобщенные зависимости для оценки главных размерений плавучих кранов [Текст]/ В.Г. Зиньковский-Горбатенко, Е.А. Кравцов. Судостроение, 1986, №3, С. 15-17.
3. Российский речной Регистр. Правила: В 4-хт. Т.1: Положение о классификации судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Правила. Правила освидетельствования судов в эксплуатации (ПОСЭ). Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий (ПТНП) /Рос. Речной Регистр.– М.: [Б.и.], 2008. – 272 с.
4. Российский речной Регистр. Правила: В 4-хт. Т.2, ч. 1, 5: Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (ПСВП). Корпус. Материалы и сварка / Рос. Речной Регистр. – М.: [Б.и.], 2008. – 408 с.
5. Российский речной Регистр. Правила: В 4-хт. Т.4, Доп. 1,2: Правила классификации и постройки судов смешанного (река-море) плавания (ПССП). Правила предотвращения загрязнения с судов (ППЗС)/Рос. Речной Регистр. – М.: [Б.и.], 2008. – 320 с.