

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЯКОРНЫХ СВЯЗЕЙ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

Б. А. Бугаенко, проф., д-р техн. наук;
А. Ю. Андрейчикова, аспирантка

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Исследована методика оценки усталостной прочности сварных якорных цепей плавучих объектов океанотехники для конкретного района эксплуатации на основе эквивалентного спектра морского волнения.

Ключевые слова: спектральная плотность, плавучие сооружения, долговечность, усталостная прочность, эквивалентный спектр.

Анотація. Досліджено методику оцінки втомної міцності зварних якорних ланцюгів плавучих об'єктів океанотехніки для конкретного району експлуатації на основі еквівалентного спектра морського хвилювання.

Ключові слова: спектральна щільність, плавучі спорудження, довговічність, втомна міцність, еквівалентний спектр.

Abstract. The method of the fatigue capacity estimation of the weld-fabricated anchor chains of floating ocean technology objects for the definite operation area on the basis of marine heaving equivalent spectrum is researched.

Keywords: spectral area, floating structures, durability, fatigue capacity, equivalent spectrum.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Нагрузки от волнения и ветров воздействуют непосредственно на корпус плавучего объекта океанотехники. При этом якорные канаты являются своего рода гибкими упругими элементами системы: они связывают плавучий корпус с якорями. Нагрузки на объект на якорях в конечном счете через якорные связи передаются основанию [4].

Существует неопределенность при расчете динамики якорных связей, так как расчет ведется по максимальным нагрузкам без привязки к конкретному району расположения плавучих сооружений, т. е. выражения для спектральной плотности зависят от заданных высоты волны 3%-й или иной обеспеченности и скорости ветра [1]. Эти

заданные параметры выступают как определители степени интенсивности волнения. Данный подход применим для разовых нагрузок, тогда как при расчете на многоцикловые нагрузки — неприемлем. Такую неопределенность в достаточной степени можно разрешить при использовании так называемого эквивалентного спектра морского волнения.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЙ

В отечественном судостроении в период освоения строительства полупогружных буровых установок (ППБУ) (конец 70-х — начало 80-х гг. XX столетия) были проведены обширные научно-исследовательские и проектные работы по сварным цепям особой

прочности для полупогружных буровых установок. В них на разных этапах активное участие принимали ленинградские ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова, ЦНИИ МС «Прометей», проектировщик буровой установки ЦКБ «Коралл», николаевские завод – изготовитель сварных цепей — Черноморский судостроительный и ответственное за разработку проектной документации, технических условий на поставку, правил приемки и программ испытаний — ПКБ «Прогресс».

В результате ПКБ «Прогресс» разработало и утвердило на сверхпрочные электросварные якорные цепи ТУ 5.211-15420-85, а ЧСЗ освоил их производство с использованием сварочных автоматов ESAB и осуществлял серийную поставку. Применительно к рассматриваемому вопросу интерес представляют конкретные данные, полученные в процессе выполнения работ по освоению сверхпрочных сварных якорных цепей, приведенные в [2].

Следует отметить, что исследованию долговечности якорных связей плавсредств уделено недостаточное внимание. Однако в статье [2] была предложена методика оценки циклической прочности сверхпрочных сварных якорных цепей с использованием вероятностных подходов для случая долговременной стоянки плавучих сооружений с учетом ветровых и волновых характеристик [5] конкретного места расположения их и экспериментальных данных по циклическим испытаниям цепей.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью статьи является исследование методики оценки долговечности сварных якорных цепей плавучих объектов океанотехники на основе эквивалентного спектра морского волнения, учитывающего ветровые и волновые характеристики конкретного района расположения плавучего объекта заякорения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В расчетах циклической прочности условно принимается, что волнение в определенное количество баллов действует на

якорные цепи буровой установки непрерывно в течение всего срока эксплуатации; это приводит к большой ошибке в безопасную сторону, следовательно, к большому запасу прочности. Согласно же предложенной методике расчета эквивалентного спектра морского волнения [2] учитываются конкретные условия эксплуатации ППБУ в месте установки, что позволяет уменьшить запас прочности до приемлемого уровня.

В качестве примера для расчета воспользуемся техническими характеристиками ППБУ «Шельф-1»: водоизмещение 19770 т, эксплуатационная глубина 200 м, рабочая осадка 14,3 м, предварительное натяжение 2500 кН; якорная система:

8 якорных цепей калибра 76 мм, длина каждой цепи 1000 м.

В работе [3] была рассчитана дисперсия натяжения в якорной связи для волнения 9 баллов $D_T = 2052 \cdot 10^{11}$ кН² и $D_T = 1,22 \cdot 10^{11}$ кН² для волнения 6 баллов (по Пирсону–Московицу). Для эквивалентного спектра дисперсия натяжений $D_T = 0,15 \cdot 10^{11}$ кН².

Построим кривую количества нагружений усилиями в цепи за определенный период эксплуатации якорных цепей буровой установки, равный 5 годам (регламентируемый техническими нормами ТУ 211-15420-85), для волнения моря 6 и 9 баллов по спектру Пирсона–Московица и для эквивалентного спектра. Для этого построим закон распределения усилий в якорной цепи предложенной ППБУ (рис. 1).

Введем на рис. 1 отрезок оси усилий ΔT , кН. Диапазон усилий T разобьем на ряд интервалов. Это позволяет заменить плотность распределения гистограммой (рис. 2), в которой площадь под кривой распределения в каждом интервале равна вероятности возникновения усилия в интервале p . Умножив вероятность p на общее число нагружений N , получим число нагружений рассматриваемого уровня N_i :

$N = 3320000$ — волнение 9 баллов (спектр Пирсона–Московица);

$N = 3800000$ — волнение 6 баллов (спектр Пирсона–Московица);

$N = 45500$ — эквивалентный спектр морского волнения.

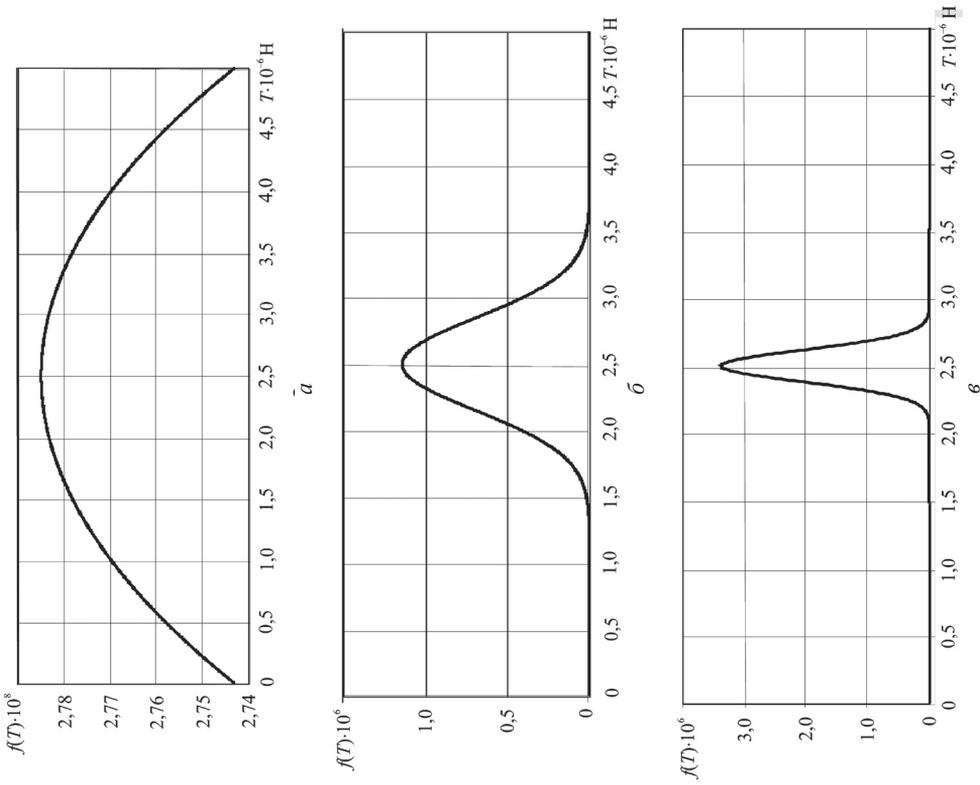


Рис. 1. Закон распределения усилий в якорной цепи ППБУ «Шельф-1»: *a* — волнение 9 баллов; *b* — волнение 6 баллов; *v* — эквивалентный спектр

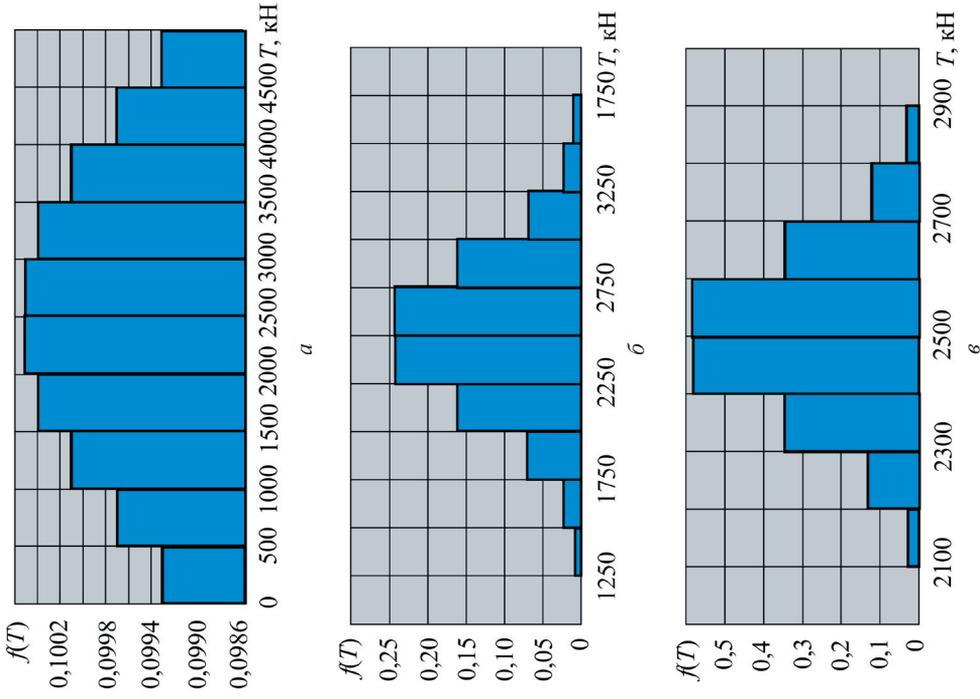


Рис. 2. Гистограмма распределения усилия в якорной цепи ППБУ «Шельф-1»: *a* — для волнения моря 9 баллов (спектр Пирсона–Московича); *b* — то же 6 баллов; *v* — на основе эквивалентного спектра морского волнения

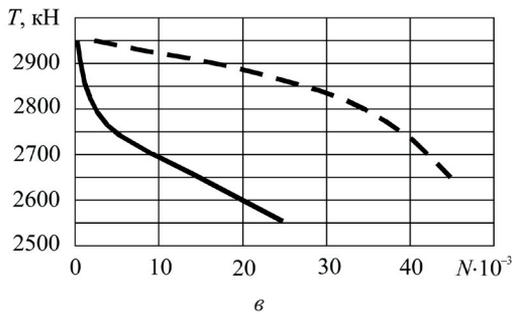
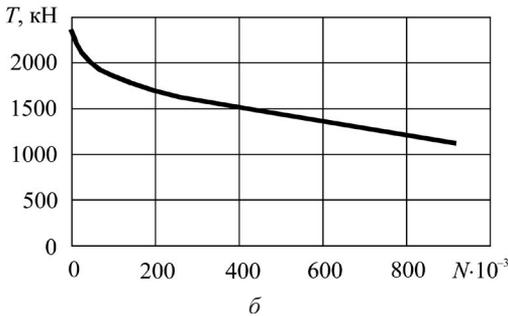
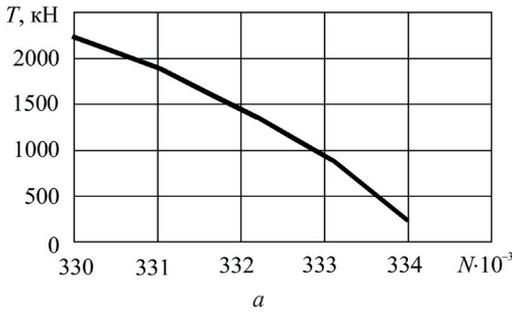


Рис. 3. Кривая количества нагружений усилиями в цепи за 5 лет эксплуатации якорных цепей ППБУ «Шельф-1»:

a — волнение 9 баллов, спектр Пирсона–Московица; *б* — волнение 6 баллов, спектр Пирсона–Московица; *в* — на основе эквивалентного спектра волнения (пунктиром показана опытная кривая выносливости)

Отнесем это число к среднему значению усилия в интервале T_{cp} и получим ряд точек количества нагружений в зависимости от уровня усилий T . Соединим полученные точки плавной линией, результат — искомая кривая (рис. 3).

Сравним опытную кривую выносливости цепи с кривой количества нагружений усилиями в цепи за 5 лет эксплуатации якорных цепей ППБУ «Шельф-1» в рассматриваемых условиях работы (см. таблицу, рис. 3).

Из анализа таблицы видно, что при непрерывном действии на якорную цепь рассматриваемой установки волнения 9 баллов долговечность цепи не будет обеспечена, так как количество циклов, испытываемых якорной связью, превышает максимально допустимое. При непрерывном действии волнения 6 баллов долговечность якорной цепи обеспечена до усилий в 2600 кН, превышение этой величины усилий ведет к превышению максимально допустимых значений циклов, испытываемых цепью.

При расчете по эквивалентному спектру волнения, более точно учитывающему реальные условия эксплуатации в месте установки ППБУ, видно, что кривая количества нагружений цепи за срок эксплуатации 5 лет не пересекается с опытной кривой выносливости. А именно количество циклов нагружений, испытываемых якорной связью, меньше максимально допустимых. Это позволяет сделать вывод, что долговечность якорных цепей ППБУ «Шельф-1» в данном районе эксплуатации (район I Черного моря) за 5 лет обеспечена.

Оценка долговечности (спектр Пирсона–Московица)

9 баллов					
Среднее усилие T , кН	2750	3250	3750	4250	4750
N , циклы (расчетная кривая)	334000	333000	332000	331000	330000
N , циклы (опытная кривая)	210000	37000	10000	1000	300
6 баллов					
Среднее усилие T , кН	2635	2865	3095	3325	3555
N , циклы (расчетная кривая)	920000	610000	260000	87000	22000
N , циклы (опытная кривая)	210000	200000	50000	35000	17000
На основе эквивалентного спектра волнения					
Среднее усилие T , кН	2550	2650	2750	2850	2950
N , циклы (расчетная кривая)	24700	14650	5000	1150	50
N , циклы (опытная кривая)	56000	45000	39000	28000	1000

ВЫВОД

Использование для расчета циклической прочности якорных цепей разработанного эквивалентного спектра морского волнения с учетом особенностей конкретного места постановки плавучих объектов

океанотехники позволяет получить приближенные к реальности результаты, что подтверждает приемлемость применяемого на практике срока эксплуатации якорных цепей до их замены на новый комплект (5 лет).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Бородай, И. К.* Качка судов на морском волнении [Текст] / И. К. Бородай, Ю. А. Нецветаев. — Л. : Судостроение, 1969. — 432 с.
- [2] *Бугаенко, Б. А.* Расчет циклической прочности сварных якорных цепей полупогружных буровых установок [Текст] / Б. А. Бугаенко // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2009. — № 4 (421). — С. 47–61.
- [3] *Бугаенко, Б. А.* Методика определения эквивалентного спектра морского волнения для расчета долговечности сварных якорных цепей [Текст] / Б. А. Бугаенко, А. Ф. Галь, А. Ю. Андрейчикова // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2009. — № 5 (422) — С. 38–45.
- [4] Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе: учеб. [Текст] / Г. В. Симаков, К. Н. Шхинек, В. А. Смелов [и др.]. — Л. : Судостроение, 1989. — 328 с.
- [5] Регистр СССР. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. — Л. : Транспорт, 1974. — 359 с.