The background of the slide is a reproduction of the famous Japanese woodblock print 'The Great Wave off Kanagawa' by Katsushika Hokusai. It depicts a massive, curling blue wave with white foam, threatening several small yellow fishing boats. In the distance, the snow-capped Mount Fuji is visible under a grey, overcast sky. The text is overlaid in red on the upper portion of the image.

ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова
Теория судна
Лекция 10
Морское нерегулярное волнение

Кафедра МиУС

К.т.н., доц. Коротков Б.П.

Знание, понимание и профессиональные
навыки в соответствии с минимальным
стандартом компетентности для
вахтенных помощников капитана судов (в
соответствии с ПДНВ)

1. Влияние ветра и течения на управление
судном

Учебные вопросы:

1. Понятие о нерегулярном волнении
2. Определение интенсивности волнения
3. Представление о нестандартных волнах

1. Понятие о нерегулярном волнении

Развитое морское нерегулярное волнение:

- Длина волны, частота, амплитуда, скорость распространения переменны
- Реальное морское волнение обычно имеет трехмерный характер:
 - Взволнованная поверхность моря - череда коротких валов, «водяных бугров» и впадин

Нерегулярное волнение



Малой
ИНТЕНСИВНОСТИ



Большой
ИНТЕНСИВНОСТИ

Плоское нерегулярное волнение

- Плоское нерегулярное волнение имеет характер зыби с валами «неправильной» формы
- Характеристики каждой последующей волны отличаются от предыдущей
- Вместо амплитуды такое волнение характеризуют высотой волны

Определение характеристик морского волнения

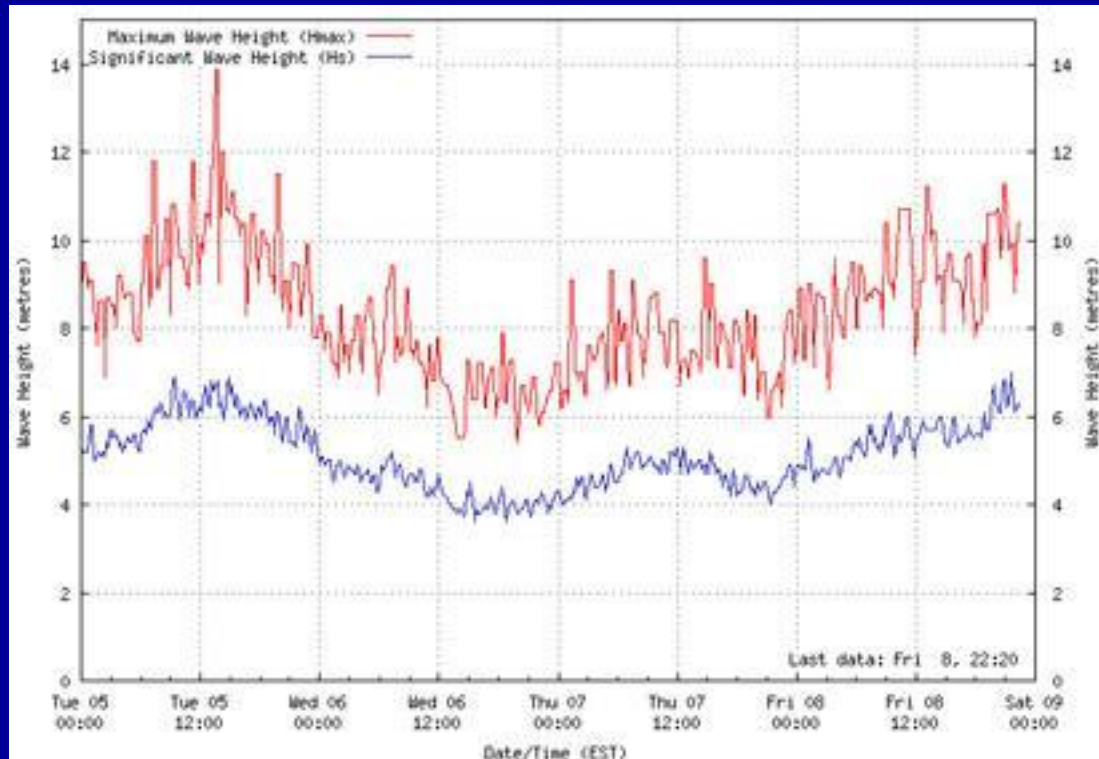
- Параметры морского волнения регистрируются аппаратурой, устанавливаемой на волномерных буйах (waverider buoy)



Буй фирмы Datawell (Нидерланды)

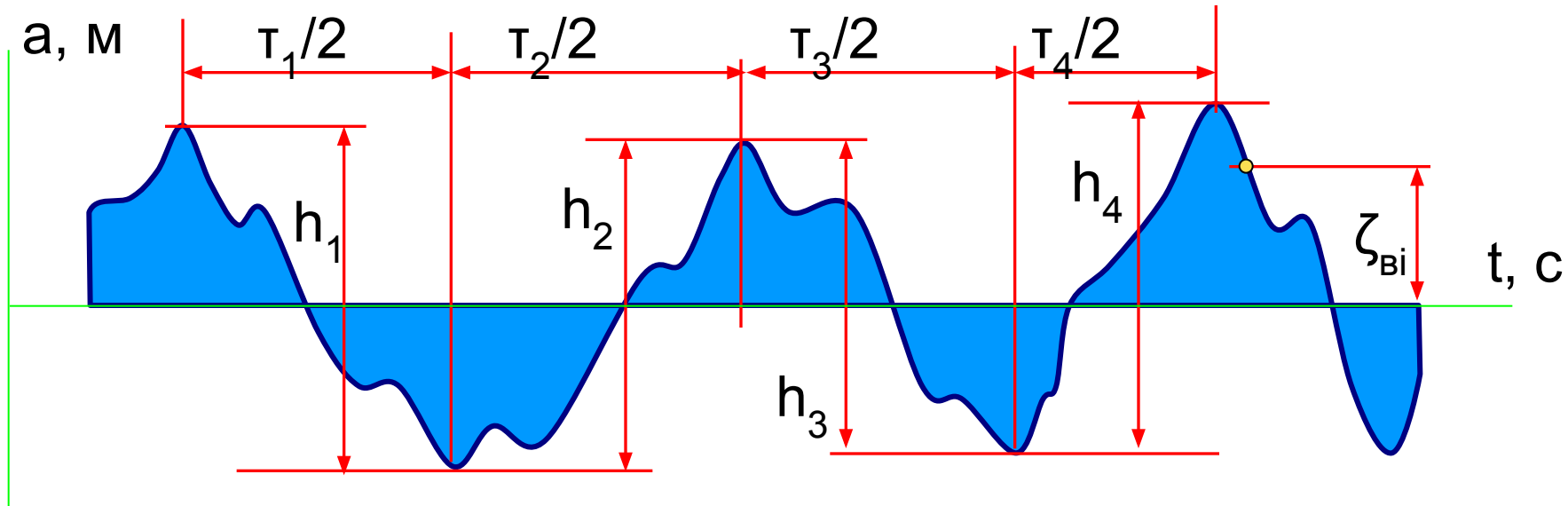
- Измерение высот волн с периодами от 1,6 до 100с с точностью 1 см
- Измерение направления волнения и температуры воды
- GPS для мониторинга и отслеживания перемещений буя
- Диаметр сферы 0,9м
- Срок службы батареи – до 2-х лет
- Могут быть установлены солнечные батареи

Волнограмма – запись колебаний ВОЛНОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ



Пример волнограммы

Обработка волнограммы



$\tau_i/2$ – полупериод волны

h_i – высота волны

ζ_{Bi} – ордината волновой поверхности

a – амплитуда волны

Развитое волнение – это стационарный случайный процесс

- Статистические характеристики развитого нерегулярного волнения постоянны
- Развивающееся и затухающее волнение – это нестационарный случайный процесс с переменными статистическими характеристиками

Статистические характеристики нерегулярного волнения:

1. Средняя высота волн (математическое ожидание)
2. Дисперсия (рассеяние) ординат волн
3. Средняя длина волн
4. Средний период волнения
5. Средняя круговая частота волн
6. Высота волнения заданной обеспеченности

Средняя высота волн:

- Это среднее арифметическое высот последовательного ряда наблюдаемых волн:

$$\bar{h}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$$

Дисперсия ординат волн D_ζ :

- Это величина, характеризующая рассеяние ординат волн относительно средней высоты
- Связь средней высоты волн с дисперсией :

$$\bar{h}_B = \sqrt{2\pi D_\zeta}$$

Обеспеченность высоты волны:

- Это вероятность того, что наблюдаемые высоты волн не превзойдут ее данной величины
- В России пользуются высотой волны 3% обеспеченности - $h_{3\%}$
- В зарубежной практике используют высоту волны 14% обеспеченности $h_{14\%}$

Пояснение понятия обеспеченности высоты волны

- Если $h_{3\%} = 5\text{м}$, то вероятность превышения наблюдаемыми волнами высоты 5м составит 3%
- Следует ожидать, что из 100 последовательно наблюдаемых волн не более 3-х могут оказаться высотой более 5м

Способ определения $h_{3\%}$

- Из ста последовательно наблюдаемых волн выбрать три, имеющие наибольшую высоту
- Наименьшую высоту из этих трех принять за $h_{3\%}$

Связь $h_{3\%}$ с дисперсией и
средней высотой волн:

$$h_{3\%} = 5,3 \sqrt{D_{\zeta}}$$

$$h_{3\%} = 2,11 \bar{h}_B$$

Средняя частота и средний период волнения:

$$\bar{\sigma} = \frac{2\pi}{\bar{\tau}} = 1,74(h_{3\%})^{-0,4}$$

$$\bar{\tau} = (3,1 \div 3,3) \sqrt{h_{3\%}}$$

Соотношения установлены по результатам наблюдений за реальным волнением

2. Определение интенсивности волнения

Шкала интенсивности морского волнения

- В России принята 10 -балльная шкала Главного Управления Гидро-Метеорологической Службы (ГУ ГМС) 1953 г от 0 до 9 баллов
- Диапазон наблюдаемых в природе волн 3% обеспеченности разбит на промежутки, называемые баллами волнения

Совмещение шкалы Бофорта и шкалы балльности волнения

- 12-балльную шкалу Бофорта совмещают со шкалой балльности волнения для одновременной оценки воздействия на судно волнения и ветра
- Волнению каждой балльности соответствует диапазон значений баллов силы ветра

Совмещенные шкалы ветра и волнения

Шкала морского волнения			Шкала Бофорта		
Баллы волнения	Характеристика волнения	$h_{3\%,1}$ м	Баллы ветра	Характеристика ветра	Скорость ветра м/с
0	Отсутствует	0	0	Штиль	0÷0,5
1	Слабое	0 ÷ 0,25	1	Тихий ветер	0,6÷1,7
2		0,25÷ 0,75	2	Легкий ветер	1,8÷3,3
3	Значительное	0,75 ÷ 1,25	3	Слабый ветер	3,4÷5,2
4		1,25 ÷ 2,0	4	Умеренный ветер	5,3÷7,4
5	Сильное	2,0 ÷ 3,5	5	Свежий ветер	7,5 - 9,8
6		3,5 ÷ 6,0	6	Сильный ветер	9,9÷12,4
7	Очень сильное	6,0 ÷ 8,5	7	Крепкий ветер	12,5÷ 15,2
8		8,5 ÷ 11,0	8	Очень крепкий ветер	15,3÷ 18,2
9	Исключительное	11,0 и более	9	Шторм	18,3÷21,5
			10	Сильный шторм	21,6÷25,1
			11	Жестокий шторм	25,2÷29,0
			12	Ураган	свыше 29

Визуальная оценка ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЛНЕНИЯ

- Человек фиксирует примерно 1/3 наиболее высоких волн, называемых *значительными*
- Нужно определить для n последовательно наблюдаемых значительных волн высоту h_i и вычислить

$$h_{1/3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$$

Волнение обеспеченностью 14%

Обеспеченность значительных волн равна 13,5% (округленно – 14%)

$$h_{1/3} \approx h_{14\%}$$

Приближенное определение балльности волнения:

1. Определить величину $h_{1/3}$
2. Определить величину

$$h_{3\%} = 1,33 h_{1/3}$$

3. Войдя в шкалу с высотой $h_{3\%}$,
определить балльность волнения

Второй способ определения интенсивности волнения

- 1 Визуально определить высоту 5-6 наиболее высоких волн в группе
- 2 Рассчитать среднеарифметическое
- 3 Высота волны $h_{3\%}$ определится как:

$\bar{h}_{\text{ВИЗ}}$

$$h_{3\%} = k_h \bar{h}_{\text{ВИЗ}}$$

k_h зависит от высоты наблюдаемых волн, его величина приведена в справочных пособиях

ГОСТ Р 22.1.08-99

- Сильным волнением считается волнение с высотой:
 - 4 м – в прибрежной зоне
 - 6м – в открытом море
 - 8м – в океане

3. Представление о нестандартных волнах

Нестандартные волны (Rogue waves)



Бискайский
залив



Атлантический
океан
южн. часть
Ньюфаундленда

Волны, несущие опасность для судоходства



Большая волна

Разрушающееся волнение



Одиночная большая волна



Нестандартные волны

- Нестандартными считают волны высотой, более чем вдвое превышающей значительную высоту
- Значительная высота в данном случае – это наибольшая высота волны при данном состоянии моря, которую может предположить опытный мореплаватель

«Новогодняя волна»

1 января 1995 г. во время шторма аппаратурой платформы Draupner в Норвежском секторе Северного моря зафиксирована волна, имевшая высоту 25,63 м, амплитуду 18,5м

Волна нанесла серьезные повреждения палубным сооружениям платформы

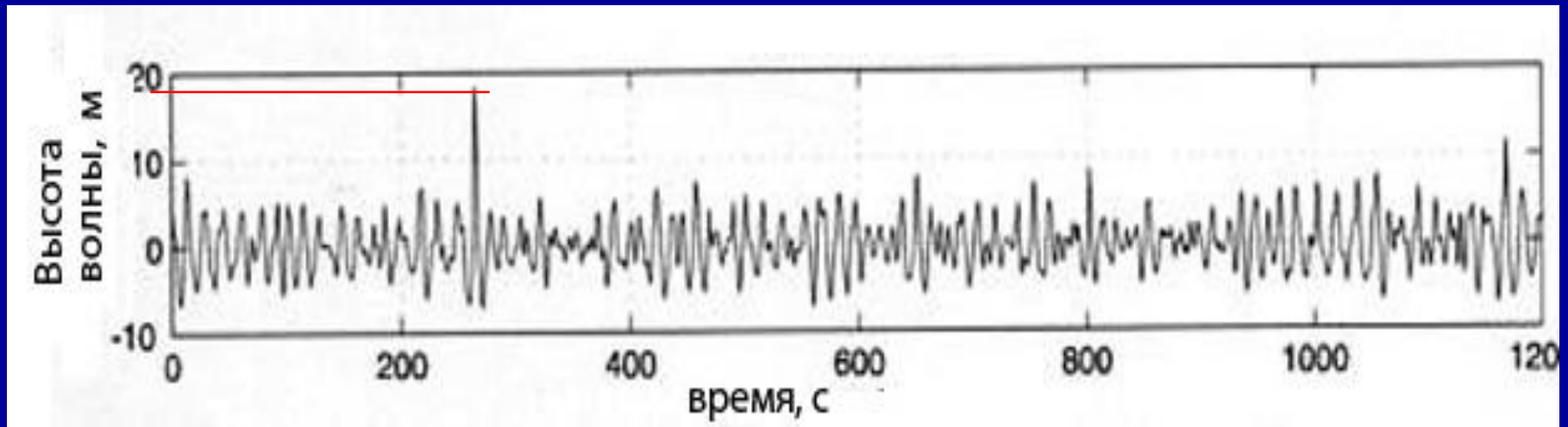
Глубина дна в районе – 70м

Есть данные о нестандартных волнах и в других районах Мирового океана

Платформа Draupner свайного типа



Волнограмма с записью «Новогодней волны»



Нестандартные волны могут нести
большую опасность для судна.

Причины возникновения нестандартных волн:

1. Наличие сильного встречного по отношению к волнению течения
2. Формирование волны при наложении более быстрых длинных волн на более медленные короткие, - «волновой пакет»

Механизм формирования большой нестандартной волны подтвержден экспериментами в волновом бассейне Берлинского Технического университета

Задание на самостоятельную подготовку

- Теория и устройство судов. Под ред. Ф. М. Кацмана. 1991
Стр. 116 - 122