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 буйях (waverider buoy)

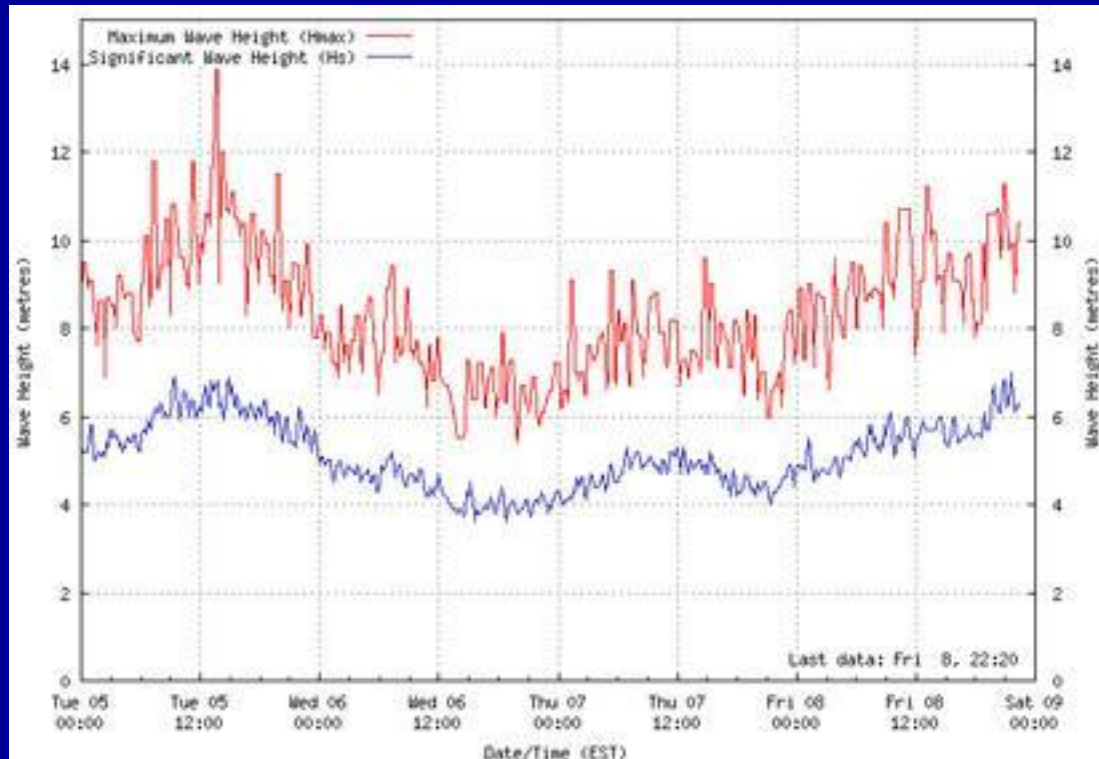




# Буй фирмы Datawell (Нидерланды)

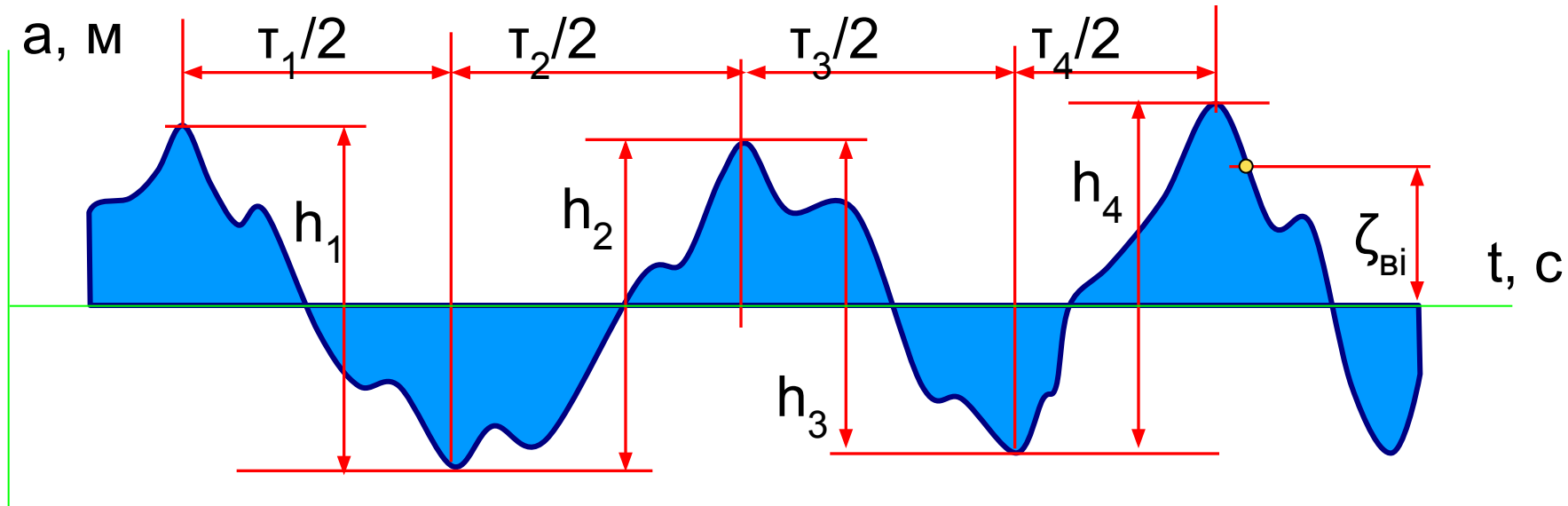
- Измерение высот волн с периодами от 1,6 до 100с с точностью 1 см
- Измерение направления волнения и температуры воды
- GPS для мониторинга и отслеживания перемещений буя
- Диаметр сферы 0,9м
- Срок службы батареи – до 2-х лет
- Могут быть установлены солнечные батареи

# Волнограмма – запись колебаний волновой поверхности



Пример волнограммы

# Обработка волнограммы



$\tau_i/2$  – полупериод волны

$h_i$  – высота волны

$\zeta_{Bi}$  – 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 $D_\zeta$ :

- 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 | $h_{3\%,1}$<br>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

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

1. 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

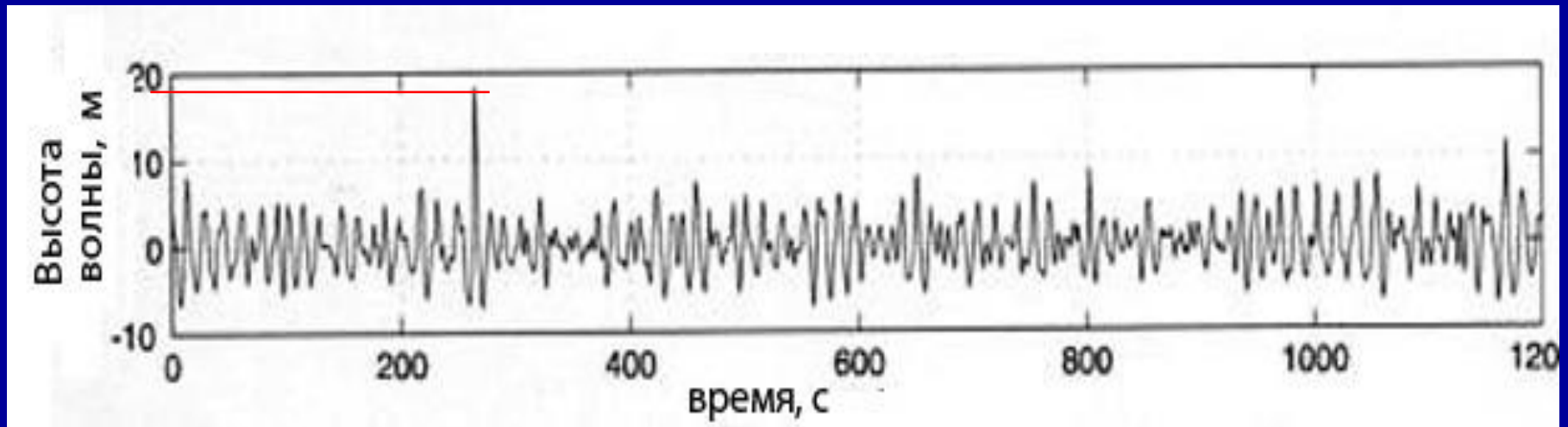
Глубина дна в районе – 70м

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