

ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВЕТРОТУРБИН

Лектор: Байжұма Жандос Ескендірұлы

Тел.: +7 707 556 60 08

Email: zhandos.baizhuma@kaznu.edu.kz

Лекция 5

Тема. Классификация силы ветра и волнения на море. Шкала Бофорта. Штормовой прилив. Шкала волнения моря

Цель: Познакомить студентов с классификацией силы ветра и состояния моря, принципами шкалы Бофорта, характеристиками волнения и явлением штормового прилива.

Основные вопросы:

1. Шкала силы ветра Бофорта: история, назначение, структура.
2. Соотношение между числом Бофорта и скоростью ветра.
3. Визуальные признаки силы ветра по состоянию водной поверхности.
4. Штормовой прилив и его особенности.
5. Шкала волнения моря и классификация волн.

Краткие тезисы:

- **Шкала Бофорта** — система для оценки силы ветра по внешним признакам, главным образом по виду морской поверхности.
- Разработана **Фрэнсисом Бофортом** (1805–1806 гг.) для флота Великобритании. Позднее адаптирована для суши.
- Сила ветра выражается в **баллах (от 0 до 12)**:
 - **0 баллов** — штиль (скорость ветра < 1 м/с);
 - **6 баллов** — сильный ветер (10–12 м/с);
 - **9 баллов** — шторм (20–24 м/с);
 - **12 баллов** — ураган (> 32 м/с).

Шкала Бофорта

Шкала силы ветра, известная как шкала Бофорта, предназначена для оценивания скорости ветра по состоянию водной поверхности. Шкала была разработана в 1805-1806 годах адмиралом военно-морских сил Великобритании сэром Фрэнсисом Бофортом, очень удачно усовершенствовавшим шкалу, существовавшую до него. Позднее подобная шкала была разработана и для суши. Спустя век, шкалу Бофорта формализовали, связав скорость ветра V (миль в час) с числом Бофорта B (баллом) простым соотношением:

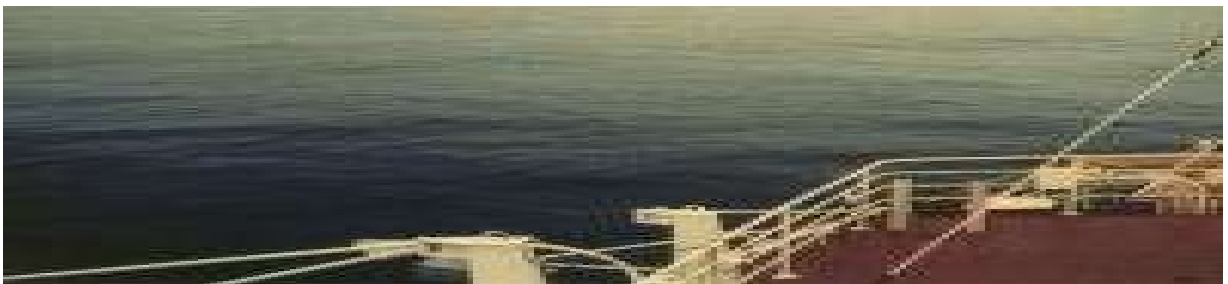
$$V=1,87 \times (B)^{3/2}$$

Состояние водной поверхности, по которому оценивается сила ветра, зависит от стадии развития волнения и многих других факторов, таких как температура воды, погода, тип волнения и т.п. Более того, шкала Бофорта применима для некоторых районов (например, озера Байкал) с определенными оговорками. На Байкале ветры, соответствующие числу Бофорта 12, бывают, а волны высотой 11 метров – нет. Частично это объясняется тем, что вода в Байкале пресная, что при равной длине разгона волн даёт в полтора раза меньшую максимальную высоту волн, чем в солёных морях.



0 баллов - штиль

Зеркально гладкое море, практически неподвижное. Волны практически не набегают на берег. Вода больше похожа на тихую заводь озера нежели на морское побережье. Над поверхностью воды может наблюдаться дымка. Край моря сливается с небом так, что границы не видно. Скорость ветра 0-0,2км/час.



1 балл - тихий

На море легкая рябь, пены на гребнях нет. Высота волн достигает до 0,1 метра. Море по-прежнему может сливаться с небом. Чувствуется легкий, почти незаметный ветерок. Направление ветра заметно по отношению дыма, но не по флюгеру. Листья деревьев неподвижны. Парусное судно начинает немного двигаться.



2 балла - легкий

Небольшие волны, высотой не более 0,3 метра, гребни гладкие и без разрыва. Скорость ветра 1,6-3,3 м/с, его можно почувствовать лицом, шуршат листья, ветер вращает обычные вертушки. При таком ветре флюгер начинает двигаться. Ветер наполняет паруса судов, которые начинают двигаться со скоростью 1-2 узла.



3 балла - слабый

Скорость ветра 3,4-5,4 м/с. Легкое волнение на воде, изредка появляются барашки. Средняя высота волн до 0,6 метров. Хорошо заметен слабый прибой. Флюгер крутится без частых остановок, колышется листья на деревьях. Парусные суда начинают крениться и двигаются примерно со скоростью 3-4 узла



4 балла - умеренный

Ветер - 5,5 - 7,9 м/с - поднимает пыль и мелкие бумажки. Флюгер крутится непрерывно, гнутся тонкие ветви деревьев. Море беспокойное, во многих местах видны барашки. Высота волн до 1,5 метра. Хороший рабочий ветер, парусные суда несут все паруса с хорошим креном.



5 баллов - свежий

Почти все море покрыто белыми барашками, иногда появляются отдельные брызги. Скорость ветра 8 - 10,7 м/с, высота волны 2 метра. Качаются ветки и тонкие стволы деревьев. Парусные суда берут рифы. На внутренних водах образуются малые волны с гребнями.



6 баллов - сильный

Море во многих местах покрыто белыми гребнями (вероятны отдельные брызги). Высота волн достигает 4х метров, средняя высота 3 метра. Скорость ветра 10,8 - 13,8 м/с. Гнуться тонкие стволы деревьев, и толстые сучья деревьев, гудят телефонные провода. Парусные суда берут двойной риф на главном парусе. Трудно пользоваться зонтом.



7 баллов - крепкий

Море покрыто белыми пенистыми гребнями, которые время от времени срываются ветром с поверхности воды. Высота волн достигает 5,5 метров, средняя высота 4,7 метров. Скорость ветра 13,9 - 17,1 м/с. Качаются средние стволы деревьев, гнутся сучья. Парусные суда остаются в гавани, а суда, находящиеся в море, ложатся на обратный курс.



8 баллов - очень крепкий

Сильные волны, на каждом гребне пена. Высота волн достигает 7,5 метров, средняя высота 5,5 метров. Скорость ветра 17,2 - 20 м/с. Идти против ветра трудно, разговаривать практически невозможно. Ломаются тонкие сучья деревьев. Все парусные суда направляются в гавань, если таковая имеется поблизости.



9 баллов - шторм

Высокие волны на море, достигающие 10 метров; средняя высота 7 метров. Плотные полосы пены вдоль направления ветра; гребни волн начинают опрокидываться, падать и переворачиваться. Скорость ветра 20,8 - 24,4 м/с. Гнутся большие деревья, ломаются средние ветки. Ветер срывает плохо укрепленное покрытие с крыш.



10 баллов - сильный шторм

Море белого цвета. Волны обрушаются на берег или о скалы с грохотом. Максимальная высота волн 12 метров, средняя высота 9 метров. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам. Ветер, со скоростью 24,5 - 28,4 м/с, срывает крыши, значительные повреждения строений.

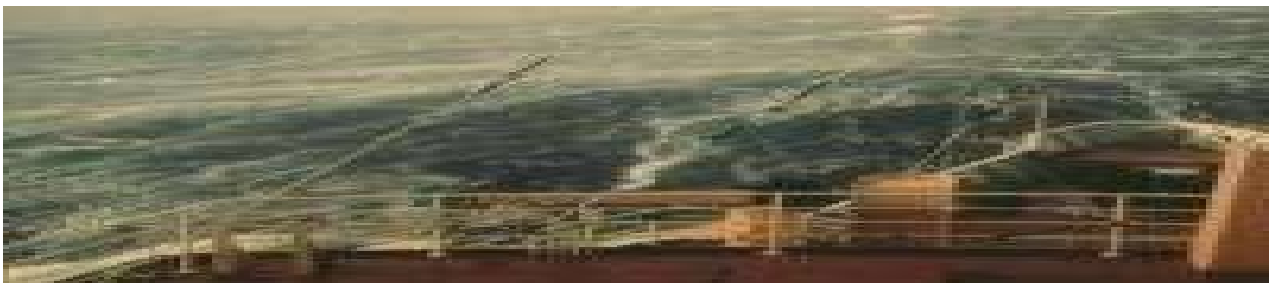


11 баллов - жестокий шторм

Высокие волны достигают 16 метров, при средней высоте 11,5 метров. Скорость ветра 28,5 - 32,6 м/с. Сопровождается большими разрушениями на суше. Суда небольшого и среднего размера временами скрываются из вида. Море всё покрыто длинными белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Края волн повсюду сдуваются в пену. Случается очень редко.

12 баллов - ураган

Скорость ветра 32,6 м/с. Высота волн более 16 метров. Исключительно плохая видимость. Воздух наполнен пеной и брызгами. Всё море покрыто полосами пены. Огромные разрушения, серьезно повреждены здания, строения и дома, деревья вырваны с корнями, растительность уничтожена. Случай очень редкий. По критерию силы тропические циклоны классифицируют в три главные группы: тропические депрессии, тропические штормы и наиболее интенсивные циклоны, название которых варьирует в зависимости от бассейна («тайфун» на северо-западе Тихого океана, «ураган» на северо-востоке Тихого и в Атлантическом океанах и модификации названий тропических штормов с помощью терминов «очень жестокий» или «интенсивный» в остальных бассейнах).



Штормовой прилив

Худшим по количеству жертв эффектом от тропических циклонов исторически был штормовой прилив, то есть поднятие уровня моря под действием циклона, что в среднем приводит примерно к 90 % жертв. Штормовой прилив вызывается в первую очередь трением воздуха о поверхность воды и может достигать свыше 6 м, иногда затопляя большие прибрежные территории. Этот механизм нагона воды особенно эффективен в мелких заливах и устьях рек. У циклонов Северного полушария максимальный штормовой прилив случается в переднем правом секторе циклона, у циклонов Южного — в переднем левом. К трению ветра также прилагается увеличение уровня воды под действием низкого атмосферного давления циклона, что поднимает его уровень ещё примерно на 1 м. Если же циклон выходит на сушу во время прилива, эти эффекты накладываются друг на друга, приводя к наиболее разрушительным последствиям.

Приблизительное сравнение классификаций тропических циклонов								
Шкала Бофорта	Постоянный ветер за 10 минут, узлов	Сев. Индийский океан IMD	Ю-З Индийский океан MF	Австралия BOM	Ю-З Тихий океан FMS	С-З Тихий океан JMA	С-З Тихий океан JTWC	С-В Тихий и Сев. Атлантический океаны NHC и CPHC
0-6	<28	Депрессия	Тропические волнения	Тропическое понижение	Тропическая депрессия	Тропическая депрессия	Тропическая депрессия	Тропическая депрессия
7	28-33	Глубокая депрессия	Тропическая депрессия					
8-9	34-47	Циклонный шторм	Умеренный циклонный шторм	Тропический циклон (1)	Тропический циклон (1)	Тропический шторм	Тропический шторм	Тропический шторм
10	48-55	Жестокий циклонный шторм	Жестокий тропический шторм	Тропический циклон (2)	Тропический циклон (2)	Жестокий тропический шторм		
11	56-63							
12	64-72	Очень жестокий циклонный шторм	Тропический циклон	Жестокий тропический циклон (3)	Жестокий тропический циклон (3)	Тайфун	Тайфун	Ураган (1)
13	73-85			Жестокий тропический циклон (3)	Жестокий тропический циклон (3)			Ураган (2)
14	86-89			Жестокий тропический циклон (4)	Жестокий тропический циклон (4)			Сильный ураган (3)
15	90-99							
16	100-106		Интенсивный тропический циклон	Жестокий тропический циклон (5)	Жестокий тропический циклон (5)			Сильный ураган (4)
17	107-114							
	115-119							
	>120	Суперциклонный шторм	Очень интенсивный тропический циклон	Супертайфун	Сильный ураган (5)			

Шкала волнения моря

В отличие от общепринятой двенадцати бальной системы оценки ветра, оценок волнения на море несколько. Общепринятыми являются британская, американская и русская системы оценивания. Все шкалы базируются на параметре, определяющем среднюю высоту значительных волн (по данным сайта savelyev.info). Этот параметр называется Significance Wave Height (SWH). В американской шкале берутся 30% значительных волн, в британской 10%, в русской 3%. Высота волны считается от гребня (верхняя точка волны) до подошвы (основание впадины).

Ниже представлено описание высоты волн.

0 баллов - штиль

1 балл - рябь (SWH < 0,1 м)

2 балла - слабое волнение (SWH 0,1 - 0,5 м)

3 балла - легкое волнение (SWH 0,5 - 1,25 м)

4 балла - умеренное волнение (SWH 1,25 - 2,5 м)

5 баллов - бурное волнение (SWH 2,5 - 4,0 м)

6 баллов - очень бурное волнение (SWH 4,0 - 6,0 м)

7 баллов - сильное волнение (SWH 6,0 - 9,0 м)

8 баллов - очень сильное волнение (SWH 9,0 - 14,0 м)

9 баллов - феноменальное волнение (SWH > 14,0 м)

В этой шкале не применимо слово "шторм". Так как по ней определяется не сила шторма, а высота волны. Шторм определяется по Бофорту.

Для WH параметра для всех шкал берется именно часть волн (30%, 10%, 3%) потому, что величина волн неодинакова. На определенном временном отрезке присутствуют волны, например, 9 метров, а так же 5, 4 и т.д. Поэтому и была принята для каждой шкалы своя величина SWH, где берется определенный процент самых высоких волн. Приборов для измерения высоты волны не существует. Поэтому и нет точного определения балла. Определение условно.

На морях, как правило, высота волны достигает 5-6 метров в высоту, и до 80 метров в длину.

Вопросы для контроля:

1. В чем заключается Шкала волнения моря?
2. Что такое приблизительное сравнение классификаций тропических циклонов?
3. В чем заключается Шкала Бофорта оценивания скорости ветра по состоянию водной поверхности?

Рекомендуемая литература:

1. Матвеев, Л. Т. *Курс общей метеорологии. Физика атмосферы*. — СПб.: Гидрометеиздат, 2021.
2. Бугаев, А. В. *Метеорология и климатология: учебное пособие*. — М.: Академия, 2022.
3. Бофорт, Ф. *Описание шкалы силы ветра*. — Лондон, 1806 (переиздание).
4. Гусев, В. Е. *Основы океанологии*. — М.: Географлит, 2020.
5. *World Meteorological Organization (WMO). Beaufort Scale and Sea State Code*. — Женева, 2023.