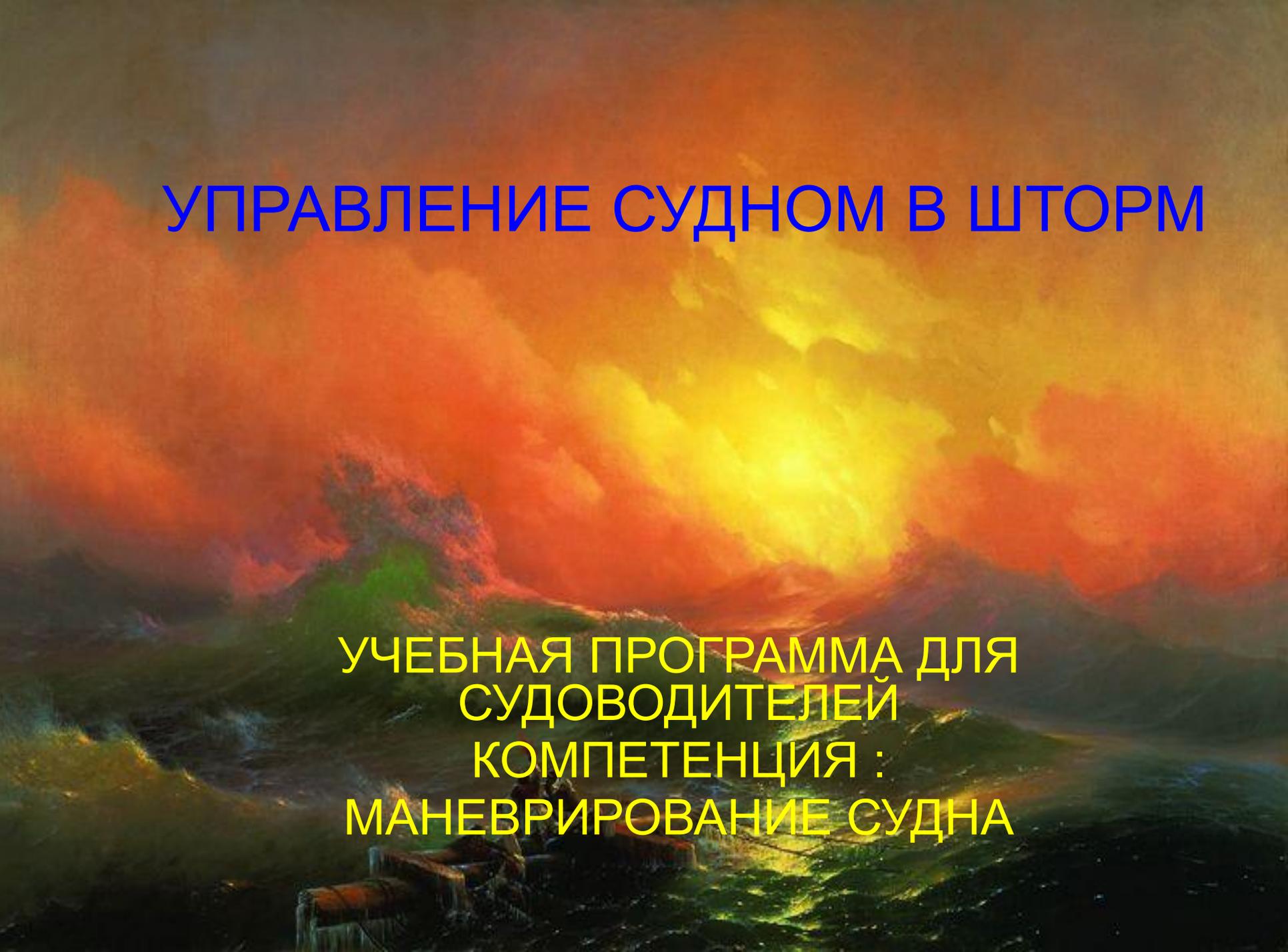


УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ В ШТОРМ



УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ
СУДОВОДИТЕЛЕЙ
КОМПЕТЕНЦИЯ :
МАНЕВРИРОВАНИЕ СУДНА

УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ В ШТОРМ

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Штормовые условия.
2. Влияние штормовых условий на судно.
3. Общие сведения о ветре и волнении.
4. Шкала Бофорта.
5. Характеристики волнения.
6. Причины изменения режимов плавания в условиях шторма.
7. Качка.
8. Потеря скорости.
9. Слеминг.
10. Заливание палубы.
11. Способы штормования судна.
12. Подготовка к плаванию в штормовую погоду.

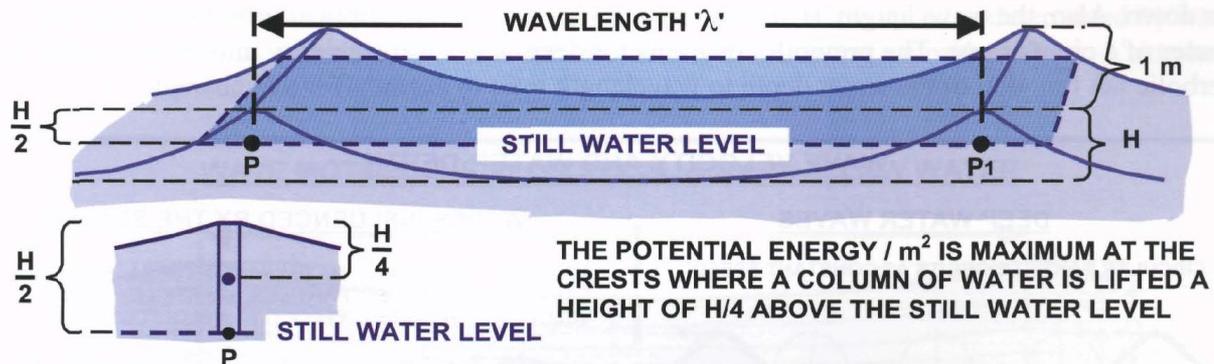
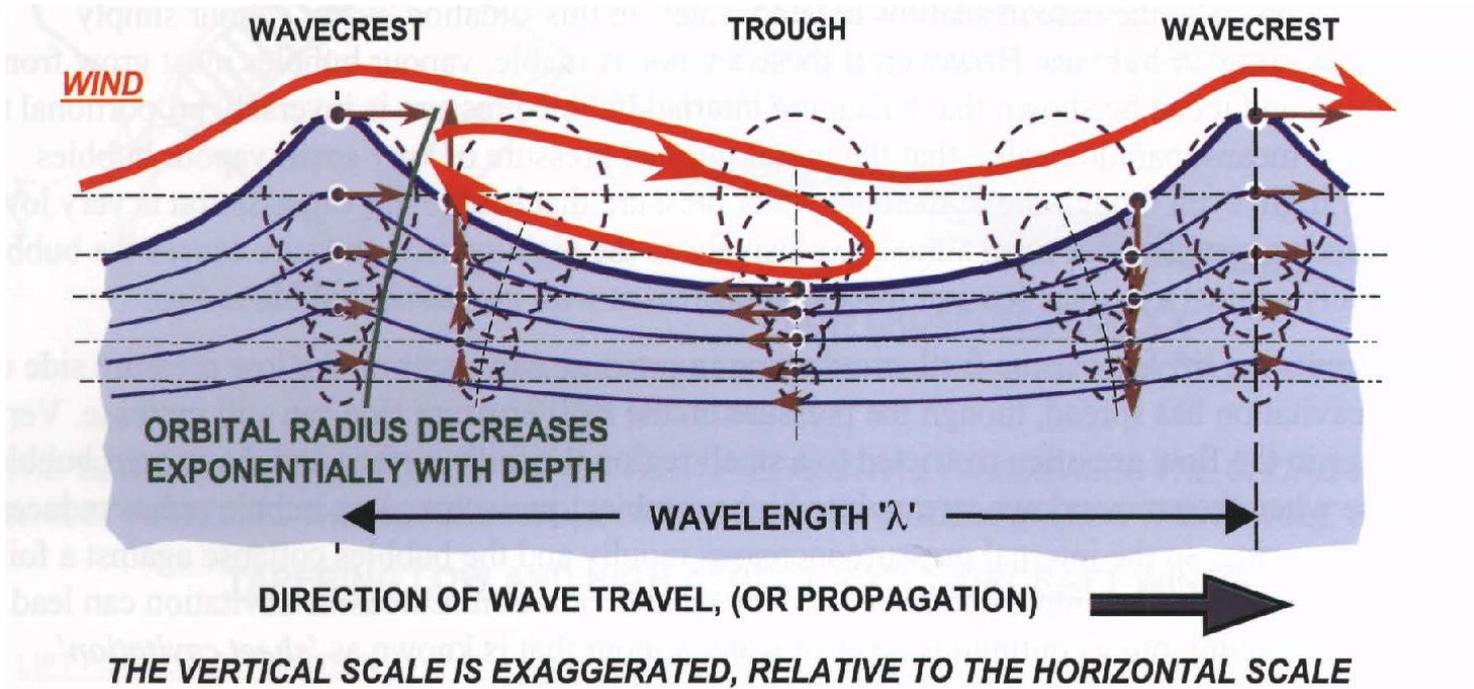
ОБРАЗОВАНИЕ ВОЛН

Ветровые волны создаются вследствие воздействия [ветра](#) (передвижение воздушных масс) на поверхность воды, то есть нагнетания. Причина колебательных движений волн становится легко понятна, если заметить воздействие того же ветра на поверхность пшеничного поля. Хорошо заметна непостоянность ветровых потоков, которые и создают волны.

В силу того что вода является веществом более плотным, чем [воздух](#) в силу того что вода является веществом более плотным, чем воздух (примерно в 800 раз) — реакция воды на воздействие ветра несколько «запаздывает», и рябь переходит в волны лишь через некоторое расстояние и время при условии постоянного воздействия ветра. Если учесть такие параметры, как постоянность потока ветра, его направление, скорость, площадь воздействия, а также предыдущее состояние колебания поверхности водной глади, то мы получаем направление волны, высоту волны, частоту волны, наложение нескольких колебаний-направлений на один и тот же участок поверхности воды. Следует отметить, что направление волны не всегда совпадает с направлением ветра. Это особо заметно при изменении направления ветра, смешивании разных воздушных потоков, изменении условий среды воздействия (открытое море, гавань, суша, [залив](#) или любое другое достаточно большое тело, способное внести изменение в тенденцию воздействия и образования волн)- это означает, что иногда ветер гасит волны. В глубоком море размеры волн и характер волнения определяются скоростью ветра, продолжительностью его действия, структурой ветрового поля и конфигурацией береговой черты, а также расстоянием от подветренного берега в направлении ветра до точки наблюдения

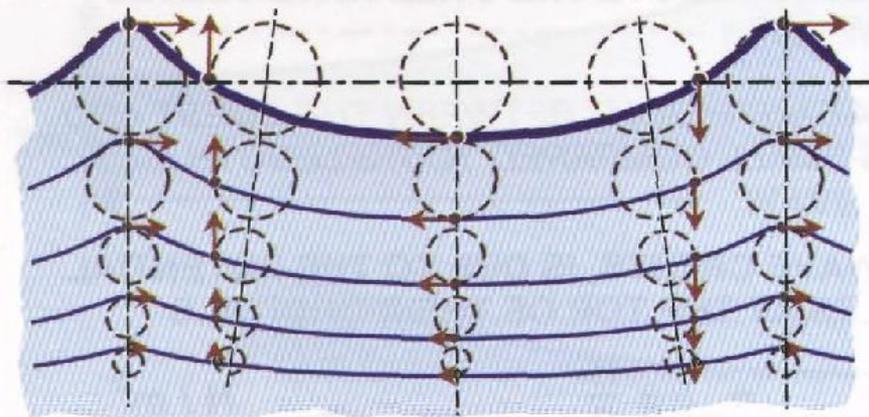
В отличие от постоянных потоков в реках, что идут в практически одном и том же направлении, энергия волн содержится в их вертикальном колебании и частично горизонтальном при малой глубине. Высота волны, а точнее, её распределение, расценивается как $2/3$ над среднестатистической поверхностью воды и всего лишь на $1/3$ в глубь. Примерно такое же соотношение отмечается и в скорости движения волны вверх и вниз. Вероятно, эта разница вызвана разной природой сил воздействия на движение волны: при подъёме водной массы действует в основном давление (волну буквально выдавливает из моря повышенное давление воды на данном участке и сравнительно низкое сопротивление-давление воздуха). При движении волны вниз в основном действуют сила [гравитации](#), вязкость жидкости, давление ветра на поверхность. Противодействуют этому процессу: инерция предыдущего движения воды, внутреннее давление моря (вода медленно уступает место опускающейся волне — перемещая давление в близлежащие районы воды), плотность воды, вероятные восходящие потоки воздуха (пузыри), возникающие при опрокидывании гребня волны, и т. д.

Особенно важно отметить тот факт, что ветровые волны являются сконцентрированной энергией ветра. Волны передаются на большие расстояния и сохраняют в себе потенциал энергии на долгое время. Так, часто можно наблюдать волнение моря после бури или шторма, когда ветер давно стих, или волнение моря при штиле.



ХВИЛІ НА ГЛИБОКІЙ ВОДІ

КРУГОВІ ОРБИТИ ЧАСТОК ВОДИ З ПОСТІЙНОЮ ШВИДКІСТЮ



ФАЗОВА ШВИДКІСТЬ

$$c' = \sqrt{\frac{\lambda g}{2\pi}} \quad \text{m/s}$$

ДОВЖИНА ХВИЛІ

$$\lambda' = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \text{m}$$

ДЕ T Є ПЕРІОДОМ ХВИЛІ В СЕКУНДАХ

ХВИЛІ, НА ЯКІ ВПЛИВАЄ ПРИСУТНІСТЬ ДНА МОРЯ

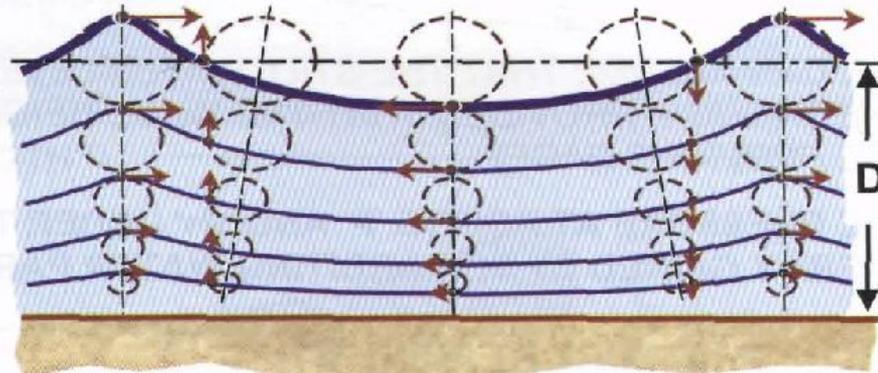
МАКСИМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ ЧАСТОК ВОДИ

МІНІМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ ЧАСТОК ВОДИ

МАКСИМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ ЧАСТОК ВОДИ

МІНІМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ ЧАСТОК ВОДИ

МАКСИМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ ЧАСТОК ВОДИ



ФАЗОВА ШВИДКІСТЬ

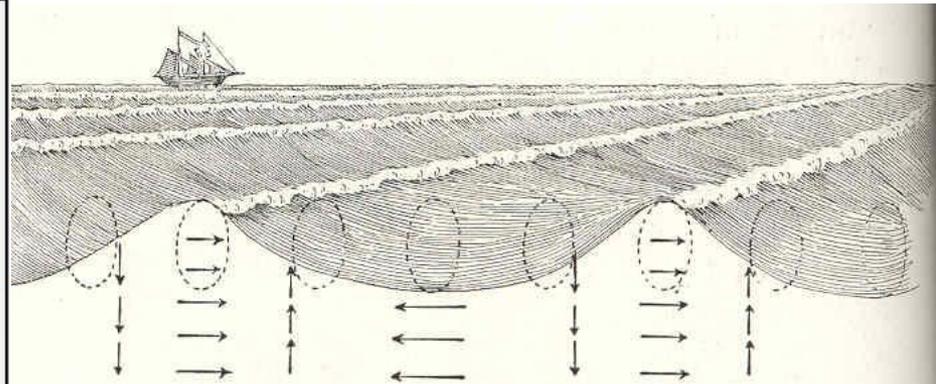
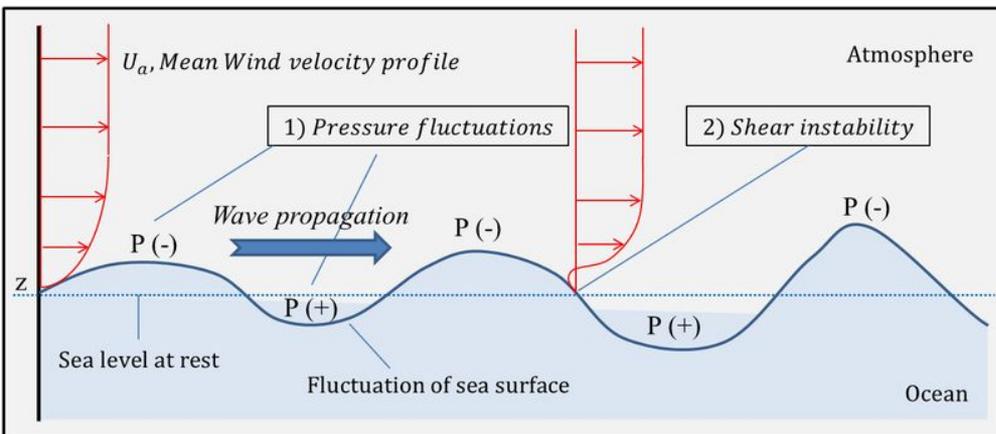
$$c' = \sqrt{\frac{\lambda g}{2\pi}} \operatorname{Tg} \left| \frac{2\pi D}{\lambda} \right| \quad \text{m/s}$$

ДОВЖИНА ХВИЛІ

$$\lambda' = \frac{gT^2}{2\pi} \operatorname{Tg} \left| \frac{2\pi D}{\lambda} \right| \quad \text{m}$$

ДЕ T Є ПЕРІОДОМ ХВИЛІ В СЕКУНДАХ & D Є ГЛИБИНОЮ МОРЯ В МЕТРАХ

ОБРАЗОВАНИЕ ВОЛН



Propagation de l'ondulation →

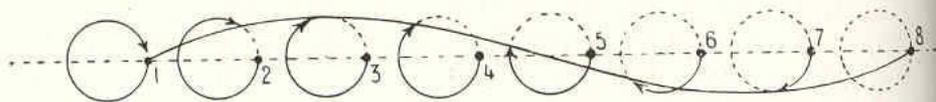
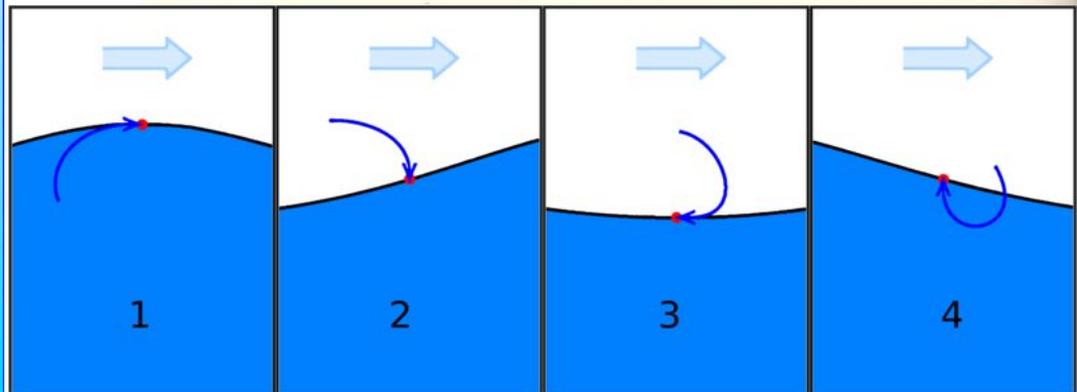
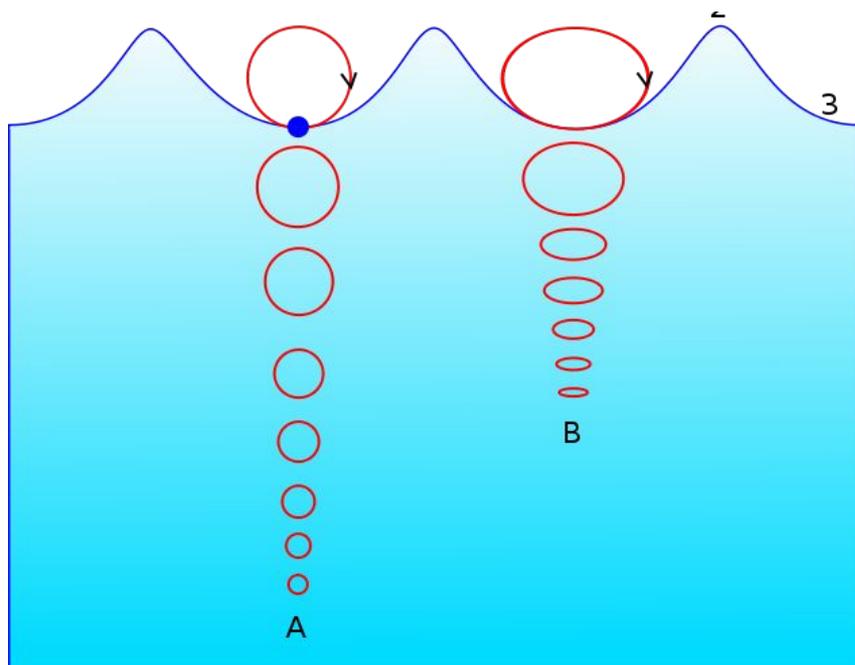


FIG. 42. - VIBRATIONS CIRCULAIRES des molécules d'eau.



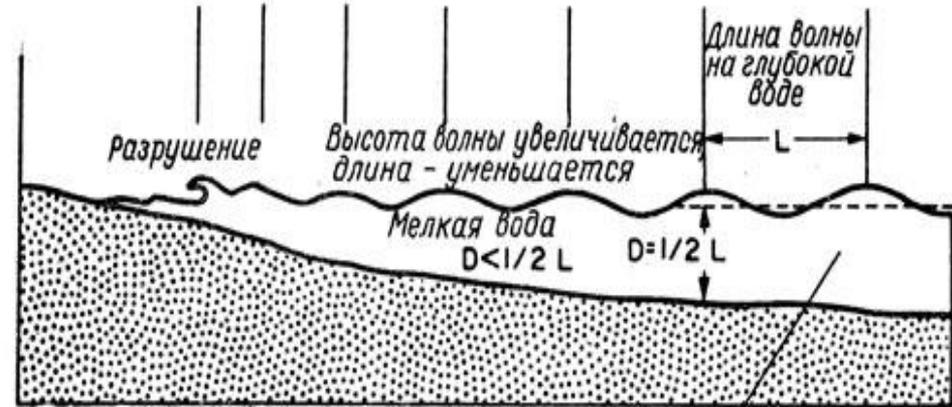
ОБРАЗОВАНИЕ ВОЛН

Как перемещаются волны? Это явление, как и многие другие, объяснил Леонардо да Винчи. Он заметил, что поле пшеницы под ветром выглядит так, будто по нему бегут волны. В действительности каждый колос совершает только незначительное движение и, когда ветер ослабевает, возвращается почти в первоначальное положение. Другим примером служит движение скакалки: вы покачиваете ее свободный конец и волна перемещается к закрепленному концу.

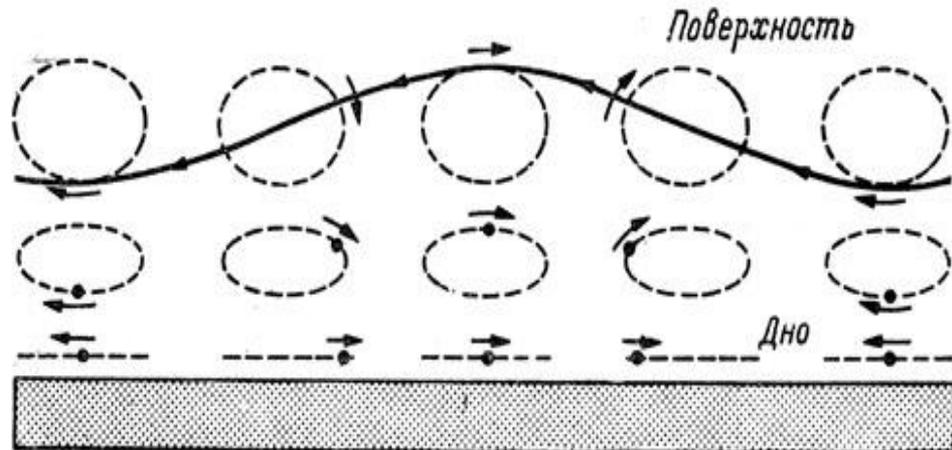
Каждая частица воды описывает круговую траекторию в вертикальной плоскости волны, радиус этих орбит быстро уменьшается с глубиной, стремясь к нулю.

Морьяк делит волны на два основных типа: волны, которые образуются местным ветром и иногда называются ветровыми, и волны, которые прибывают из области шторма в виде зыби. Для любого наблюдателя внешнее различие между ними сводится к различию между активно, неравномерно колеблющейся поверхностью моря и вытянутыми, правильными валами, в которых частицы воды совершают орбитальное движение. И затем волна встает на дыбы, как только почувствует, так сказать, почву под ногами, дно, а затем летит кувырком, разбиваясь на прибрежной отмели или рифах.

Профиль волны. При подходе волны к берегу ее длина уменьшается, а высота и крутизна увеличиваются



Глубокая вода - волны не испытывают влияния дна



ОБРАЗОВАНИЕ ВОЛН

Высотой волн характеризуется их энергия. Попросту говоря, энергия существует в двух формах: потенциальной (энергия положения) и кинетической (энергия движения). Известно, что количественно они равны и, следовательно, амплитуда волны является показателем всей энергии. Другой важной характеристикой служит частота волновых колебаний, зависящая, в частности, от разгона ветра — расстояния по прямой линии, на котором действует ветер от берега до данной точки. Зная разгон и скорость ветра, можно вычислить амплитуду волны. Сохранились данные столетней давности о полях ветра над морем. Имея сезонный прогноз скорости ветра, длину его разгона и время действия, можно при минимуме технических знаний воспользоваться номограммой для прогнозирования поля волнения. С аналогичных номограмм можно снять также данные о периоде волны, т.е. о времени между появлением двух последовательных гребней волны в заданном районе.

Период ветровых волн может изменяться от двух до двадцати секунд.

Почему, например, штормовые волны столь различны по высоте? Каждая отдельная волна порождена одним и тем же ветром, одновременно действующим над однородной средой, и все же высота их может отличаться в отношении 1:10. Объяснение состоит в том, что существует волна очень недолго; ни одна штормовая волна как идентифицируемое индивидуальное образование не живет более двух минут. Даже 80-футовые чудовища имеют короткий период триумфа, и если можно было бы проследить за их эволюцией, то было бы видно, как они уменьшаются и за пару минут опускаются до уровня остальных, приняв участие в случайной сумятице волн на морской поверхности и никогда не возвращаясь к первоначальным формам. Такое поведение является следствием того, что энергия морских волн распределена по очень широкому спектру волновых компонент, каждая из которых имеет свою амплитуду и период.

Каждая компонента движется со скоростью, определяемой ее периодом, так что более быстрые компоненты (имеющие больший период) постоянно опережают более медленные. Представим на момент простейший случай волновой системы, состоящей из двух компонент с несколько различными скоростями. Когда вершина одной волны достигнет вершину другой, временно возникает волна, превышающая по высоте и ту и другую; аналогично когда вершина одной волны попадает в подошву другой, то поверхность относительно сглаживается. В реальном море не две, а миллионы волновых компонент (бесконечное число, если перейти к их математическому пределу), и каждая движется со своей собственной изначальной скоростью. Если бы когда-нибудь, чисто случайно, очень большое число компонент совместились в одной пространственно-временной точке и наблюдатель, к несчастью, оказался поблизости, он узрел бы волну огромных размеров.

ШТОРМОВЫЕ УСЛОВИЯ



Штормовые условия. Под штормовыми условиями следует понимать такое состояние погоды, когда ветер и волнение моря достигают силы, представляющей опасность для судна. Эти условия требуют от экипажа принятия особых мер для обеспечения мореходности судна, живучести технических средств, сохранности груза, безопасности пассажиров и собственной безопасности. Основными факторами, определяющими штормовые условия, являются ветер и волнение моря. Понятие «штормовые условия» не может определяться какими-то критическими значениями силы ветра и волнения моря — они различны даже для одного и того же судна и зависят от конкретных условий плавания.

Влияние штормовых условий на судно

Выбор курса и скорости при плавании на волнении может существенно влиять на поведение судна и вероятность возникновения опасных ситуаций. Выбор оптимального курса судна относительно волн зависит от многих причин: размеров и формы волн, направления их распространения, силы и скорости ветра, глубины моря и рельефа дна, конструкции судна и его загрузки, соотношения между размерами судна и волн и др.

Существует два режима плавания на волнении: первый – когда судно сохраняет направление движения и лишь уменьшает скорость, чтобы избежать сильных ударов волн, заливания или уменьшить амплитуду качки; второй, называемый режимом штормования, – когда обеспечение безопасности плавания заставляет отказаться от движения в заданном направлении.

Плавание в штормовых условиях современных судов, несмотря на их крупные размеры и высокие технические и мореходные качества, остается тяжелой и ответственной задачей. Воздействие штормового ветра и волн может принести судну крупные повреждения, если оно соответствующим образом не подготовлено к встрече со штормом и если маневрирование в шторм сопровождается ошибочными действиями капитана.

Нередко сила шторма бывает такой, что следование судна по курсу становится невозможным, и тогда на первом плане должна быть задача борьбы за живучесть и спасение судна.

Влияние штормовых условия на судно

Вредное влияние штормовых условий на судно проявляется в следующем.

1. **Увеличиваются напряжения в корпусе судна и его отдельных элементах**, особенно когда курс перпендикулярен фронту волны, а ее длина близка к длине судна. В практике мореплавания зафиксировано немало случаев, когда чрезмерные напряжения вызывали появление трещин в палубе и обшивке судна. В статистике аварий отмечены случаи и полного перелома судов на большой волне.

2. **Увеличивается качка судна**. Качка - колебательное движение судна, подразделяется на три основных вида: бортовую, килевую и вертикальную. Практически судно в штормовых условиях имеет смешанную качку, но преобладающей всегда является бортовая или килевая.

При сильной бортовой качке силами инерции могут быть сорваны части рангоута, спасательных средств, оборудование машинного отделения и т. д.

Килевая качка в большинстве случаев сопровождается ударами волн в днище и носовой подзор судна (**днищевой и бортовой слеминг**), увеличением напряжений в продольных связях корпуса, оголением винта при прохождении волны под кормой и заливания палубы. Все эти явления могут причинить судну и его оборудованию значительные повреждения. Особенно страшны мощные удары волн, когда они, перекатываясь по палубе, нарушают крепление люковых закрытий и проникают в трюмы. Положение в таких случаях становится критическим и может закончиться быстрой гибелью судна. Факты вскрытия люков волнением имели место в мореплавании и, как правило, заканчивались трагически.

При движении на волнении судно может испытывать качку во всех шести степенях свободы, а также может быть подвержено следующим явлениям:

- **динамические нагрузки на корпус судна ввиду действия перерезающих сил и изгибающих моментов (shear forces, bending & torsion moments), слэминга (slamming);**

- **заливаемость (green water, shipping water);**

- **снижение работоспособности экипажа (утомляемость пассажиров) (crew performance reduction);**

- **уменьшение скорости (speed loss);**

- **оголение и разгон винта (propeller emersion, propeller racing);**

3. Сильный шторм вызывает **снос судна с курса**, и оно при наличии отмелей и банок в районе плавания может быть выброшено на мель. В некоторых морях имеются такие обширные отмели и банки, на которых нашло свою гибель в штормовую погоду множество судов различных классов — от парусников до современных лайнеров.

4. В сильный шторм возможно **повреждение груза** в трюмных и твиндечных помещениях и на палубе, особенно при некачественной штивке и найтовке, а при попадании воды в грузовые помещения (через вентиляторы, люки и т. п.) возможна и подмочка груза.

Кроме того, при движении на волнении могут возникать специфические явления, которые мы опишем ниже.

Основной/гармонический резонанс (harmonic resonance) — значительное увеличение амплитуд качки судна, наблюдающееся при совпадении кажущегося периода волнения и периода собственных колебаний судна. Гармонический резонанс качки может возникать только при наличии восстанавливающей силы или момента по соответствующей степени свободы. Наиболее опасным считается резонанс бортовой качки. Резонансы килевой и вертикальной качки сами по себе не являются настолько опасными явлениями, однако могут сопутствовать ряду других явлений, таких как слэминг, заливаемость, повышение прочностных нагрузок и параметрический резонанс.

Параметрический резонанс (parametric resonance/parametric rolling). В мореходной практике параметрический резонанс характерен только для бортовых колебаний. Согласно циркуляру ИМО 1228 можно определить две ситуации, в которых возникает этот вид резонанса:

1. Остойчивость изменяется с кажущимся периодом волнения, который практически равен собственному периоду бортовых колебаний, достигая своего минимума один раз за период бортового колебания. Таким образом, возникает ассиметричная качка. Такой вид резонанса может возникнуть при достаточно большой разнице между кажущимся периодом волнения и собственным периодом бортовых колебаний. Причиной этому является медленное возвращение судна в положение равновесия при возникновении больших углов крена, когда собственный период качки «адаптируется» к кажущемуся периоду волнения.
2. Остойчивость судна изменяется с кажущимся периодом волнения, который примерно равен половине собственного периода бортовой качки, достигая минимума два раза за один собственный период. На четвертных кормовых и чисто попутных углах волнения, когда кажущийся период волны больше истинного, параметрический резонанс возникает только при очень больших значениях собственного периода бортовых колебаний, то есть при очень малой начальной остойчивости.

Кроме того, на изменение остойчивости в значительной степени могут влиять вертикальная и килевая качка, что особенно характерно для контейнеровозов, у которых обводы носа и кормы значительно отличаются.

Таковы основные нежелательные последствия, которые могут быть причинены судну штормом. Сюда следует еще добавить, что условия несения вахт и выполнения судовых работ в штормовую погоду значительно усложняются; длительная качка изматывает физически людей и создает массу неудобств даже в обычной повседневной жизни судна.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ



Ветер возникает из-за неравномерности распределения давления в атмосфере. Воздушный поток состоит из отдельных вихрей, беспорядочно перемещающихся в пространстве. Поэтому скорость ветра, измеряемая в какой-либо точке, непрерывно меняется во времени. Наибольшие колебания скорости ветра наблюдаются в приводном слое. Для того чтобы иметь возможность сопоставлять скорости ветра, за стандартную высоту была принята высота 10 метров над уровнем моря.

Скорость ветра выражают в метрах в секунду, силу ветра - в баллах. Соотношение между ними определено шкалой Бофорта.

Колебания скорости ветра характеризуются коэффициентом порывистости, под которым понимается отношение максимальной скорости порывов ветра к его средней скорости, полученной за 5 – 10 минут. С возрастанием средней скорости ветра коэффициент порывистости уменьшается. При больших скоростях ветра коэффициент порывистости равен примерно 1,2 – 1,4.

Штормовые ветры возникают преимущественно в областях с пониженным атмосферным давлением. Особенно большой силы достигают тропические циклоны, при которых скорость ветра нередко превышает 60 м/с. Сильные штормы наблюдаются и в умеренных широтах.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

Ветер вызывает волнение моря. Различают следующие основные элементы и характеристики волн.

Волновой профиль — линия сечения взволнованной поверхности моря вертикальной плоскостью в направлении распространения волны. Линия, пересекающая волновой профиль так, что суммарные площади выше и ниже нее одинаковы, называется средним волновым уровнем профиля.

Гребень волны — часть волны, расположенная выше среднего волнового уровня.

Ложбина волны — часть, расположенная ниже среднего уровня.

Вершина волны — наивысшая точка гребня.

Подожва волны — низшая точка ложбины.

Фронт волны — линия, проходящая вдоль ее гребня.

Длина гребня волны — протяженность гребня по фронту.

Высота волны (h) — расстояние по вертикали от ее вершины до подошвы смежной волны на волновом профиле.

Длина волны (λ) — расстояние по горизонтали между вершинами смежных гребней.

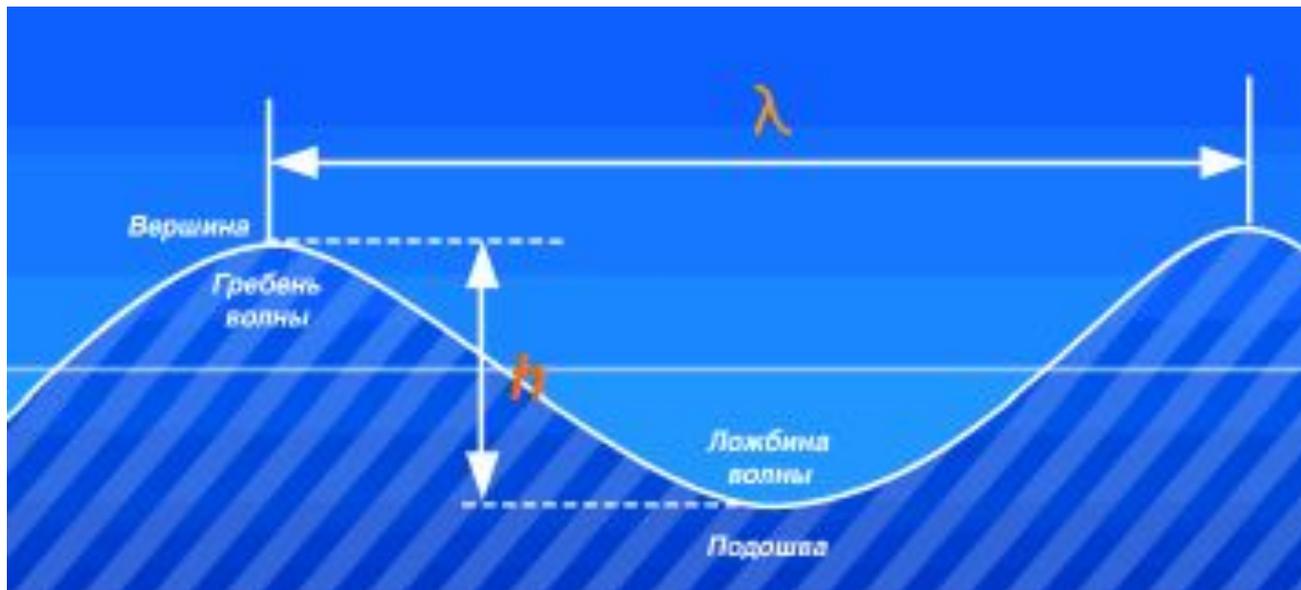
Крутизна волны — отношение высоты волны к половине ее длины.

Период волны (T) — промежуток времени между прохождением через одну и ту же точку пространства двух последовательных гребней (или подошв) волны.

Скорость волны (c) — расстояние по горизонтали, проходимое любой точкой волны в единицу времени.

Возраст волны — отношение скорости волны к скорости ветра.

В зависимости от стадии развития волнение бывает развивающееся, установившееся и затухающее. Волны классифицируют по различным признакам. Различают волны зыби, ветровые и смешанные



Волновой профиль

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

Ветровые волны, вышедшие из района сильного ветра в район маловетрия, а также ветровые волны после прекращения сильного ветра превращаются в волны зыби. Последние отличаются от ветровых волн более правильной формой. При ветровом волнении средняя скорость волн меньше средней скорости ветра, при зыби - наоборот. Смешанные волны возникают тогда, когда из одной штормовой области зыбь приходит в другую, где образовался другой вид волнения. В этом случае обе волновые системы накладываются одна на другую.

Волнение в каждом районе зависит от многих факторов: от силы ветра и его продолжительности, удаленности от берегов, глубины моря, характера волнения в соседних районах моря. В северной части Атлантического океана отмечались волны высотой 15 метров. Наиболее высокие (21 м) волны наблюдались в северной части Тихого океана, наиболее длинные (до 340 м) - в южной части Индийского океана.

Управляемость судна на волнении зависит не только от размеров волн, но и от их крутизны.

Ватерлиния стремится установиться параллельно поверхности воды, то есть параллельно профилю волны. При большой крутизне волны наклон профиля, а следовательно, и крен судна будут большими, чем при малой крутизне. Наиболее благоприятны для судна пологие (с малой крутизной) волны. Максимальная крутизна волн в среднем равна 0,06-0,07 и редко достигает значения 0,1. Морские волны обладают огромной энергией, которая возрастает пропорционально длине и квадрату высоты волны.

С увеличением скорости ветра, а также продолжительности действия ветра постоянного направления размеры волн возрастают. Но этот рост продолжается не бесконечно. Даже при ветре силой 12 баллов волны достигают предельных размеров примерно через двое суток. Наибольших размеров волны могут достичь только в том случае, если размеры водного бассейна достаточно велики. В случае изменения направления ветра более чем на 45° возникает новая система волн, которая накладывается на прежнюю волновую систему.

На мелководье волнение имеет характерные особенности. Здесь волны быстрее достигают максимальных размеров и быстрее затухают после прекращения ветра. Так, на мелководном Азовском море при скорости ветра 20 м/с волны достигают максимальных размеров примерно в течение часа. Даже при очень сильных ветрах размеры волн на мелководье меньше, чем в глубоководных районах, но зато они отличаются значительной крутизной. Максимальная высота волны на мелководье не может быть больше 0,8 глубины моря. Скорость и длина волны на мелководье уменьшаются, а период остается постоянным. Глубина моря начинает существенно влиять на высоту волн в тех случаях, когда она меньше средней высоты волн. Таким образом, мелководные районы моря не имеют постоянных границ. В каждом конкретном случае такой условной границей будет служить изобата, соответствующая глубине, численно равной $0,4\tau^2$ где τ – период волны(сек).

В прибрежной мелководной зоне наблюдается частое изменение направления движения волн. Разнообразные местные условия могут существенно влиять на характер волнения в мелководных районах. Так, например, на Ньюфаундлендской банке, где глубина составляет около 160 м при глубинах в прилегающих районах Атлантического океана до 2000 м, отмечается резкое изменение характера волнения и толчея. Особенности волнения в различных районах отмечаются в лоциях.

Эти особенности судоводителям следует учитывать и при прокладке курсов избегать прохождения мелководных районов в штормовых условиях.

ШКАЛА БОФОРТА

Шкала Бофорта — двенадцатибалльная шкала, принятая [Всемирной метеорологической организацией](#) — двенадцатибалльная шкала, принятая Всемирной метеорологической организацией для приближенной оценки скорости [ветра](#) — двенадцатибалльная шкала, принятая Всемирной метеорологической организацией для приближенной оценки скорости ветра по его воздействию на наземные предметы или по волнению в открытом море. Средняя скорость [ветра](#) указывается на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью.

Шкала разработана английским адмиралом [Ф. Бофортом](#) Шкала разработана английским адмиралом Ф. Бофортом в [1806 году](#) Шкала разработана английским адмиралом Ф. Бофортом в 1806 году. С [1874 года](#) Шкала разработана английским адмиралом Ф. Бофортом в 1806 году. С 1874 года принята для использования в международной синоптической практике. Первоначально в ней не указывалась скорость ветра (добавлена в [1926 году](#) Шкала разработана английским адмиралом Ф. Бофортом в 1806 году. С 1874 года принята для использования в международной синоптической практике. Первоначально в ней не указывалась скорость ветра (добавлена в 1926 году). В 1955 году, чтобы различать [ураганные](#) Шкала разработана английским адмиралом Ф. Бофортом в 1806 году. С 1874 года принята для использования в международной синоптической практике. Первоначально в ней не указывалась скорость ветра (добавлена в 1926 году). В 1955 году, чтобы различать ураганные ветра разной силы, [Бюро погоды США](#) расширило шкалу до 17 баллов. Согласно шкале Бофорта шторм начинается с 9 баллов.

0. Штиль 0—0,2м/с4 < 1км/ч; 0—1узл. Безветрие. [Дым](#) поднимается вертикально, листья деревьев неподвижны)

Зеркально гладкое море

1. Тихий 0,3—1,5м/ч; 1—5км/ч; 1—3узл. Направление ветра заметно по отношению дыма, но не по [флюгеру](#).

[Рябь](#), пены на гребнях волн нет. Высота волн до 0,1

2. Лёгкий 1,6—3,3м/с; 6—11км/ч; 4—6узл. Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья, приводится в движение флюгер.

Короткие волны максимальной высотой до 0,3 м, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными

3. Слабый 3,4—5,4м/с; 12—19км/ч; 7—10узл. Листья и тонкие ветви деревьев всё время колыхнутся, ветер развеивает лёгкие [флаги](#)

Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену. Изредка образуются маленькие барашки. Средняя высота волн 0,6 м

4. Умеренный 5,5—7,9м/с; 20—28км/ч; 11—16узл. Ветер поднимает пыль и мусор, приводит в движение тонкие ветви деревьев

Волны удлиненные, барашки видны во многих местах. Максимальная высота волн до 1,5 м

5. Свежий 8,0—10,7м/с; 29—38км/ч; 17—21узл. Качаются тонкие стволы деревьев, движение ветра ощущается рукой

Хорошо развитые в длину, но не крупные волны, максимальная высота волн 2,5 м, средняя — 2 м. Повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги).

6. Сильный 10,8—13,8м/с; 39—49м/с; 22—27узл. Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода.

Начинают образовываться крупные волны. Белые пенные гребни занимают значительные площади, вероятны брызги. Максимальная высота волн — до 4 м, средняя — 3 м

7. Крепкий 13,9—17,1м/с; 50—61км/ч; 28—33узл. Качаются стволы деревьев.

Волны громоздятся, гребни волн срываются, пена ложится полосами по ветру. Максимальная высота волн до 5,5 м

8. Очень крепкий 17,2—20,7м/с; 62—74км/ч; 34—40узл. Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно.

Умеренно высокие длинные волны. По краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра.

Максимальная высота волн до 7,5 м, средняя — 5,5 м

9. Шторм 20,8—24,4м/с; 75—88км/ч; 41—47узл. Небольшие повреждения, ветер начинает разрушать крыши зданий.

Высокие волны (максимальная высота — 10 м, средняя — 7 м). Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость

10. Сильный шторм 24,5—28,4м/с; 89—102км/ч; 48—55узл. Значительные разрушения строений, ветер вырывает деревья с корнем.

Очень высокие волны (максимальная высота — 12,5 м, средняя — 9 м) с длинными загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам

11. Жестокий шторм 28,5—32,6м/с; 103—117км/ч; 56—63узл. Большие разрушения на значительном пространстве. Наблюдается очень редко.

Видимость плохая. Исключительно высокие волны (максимальная высота — до 16 м, средняя — 11,5 м). 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.

ШКАЛА БОФОРТА



Баллы	V -м/сек	V - узлы	V -км/час	q -кг/м ²	Волна, h - м
0	0 – 0,15	0	0	0	0 0
1	0,15 – 2,7	1 - 3	1 – 5	0 – 0,14	0,1 – 0,25 I
2	2,7 – 3,6	4 - 6	6 – 11	0,15 – 0,69	0,25 – 0,75 II
3	3,6 – 7,2	7 - 10	12 – 19	0,7 – 1,85	0,75 – 1,25 III
4	7,2 – 7,9	11 - 16	20 - 28	1,86 – 3,9	1,25 – 2,0 IV
5	8,0 - 10,7	17 - 21	29 – 38	4 – 7,2	2,0 – 3,5 V
6	10,8 – 13,8	22 - 27	39 – 49	7,3 – 11,9	3,5 – 6,0 VI
7	13,9 – 17,1	28 - 33	50 – 61	12,0 – 18, 3	
8	17,2 – 20,5	34 – 40	62 – 74	18,4 - 26,4	6,0 – 8,5 VII
9	20,6 – 24,4	41 - 47	75 – 88	26,5 – 37,3	
10	24,5 – 28,4	48 - 55	89 – 102	37,4 – 50,5	8,5 – 11,0 VIII
11	28,5 – 32,6	56 - 63	103 - 117	50,6 – 66,9	
12	32,7 и >	64 и >	118 и >	67 и >	11.0 и > IX

Динамическое давление ветра **q** может быть вычислено по формуле:

$$q = m V^2 / 2 = \rho V^2 / 2 = 0,125 V^2 / 2 = 0,0625 V^2 \text{ кг/м}^2 = 0,6125 V^2 \text{ Па}$$

$$1 \text{ кг/м}^2 = 9,81 \text{ Н/м}^2 = 9,81 \text{ Па}$$

где **V** – скорость ветра в м/сек

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1,225}{9,81} = 0,125 \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}^4}$$

ρ - плотность воздуха,

$\gamma = 1,225 \text{ кг}$ – масса 1 м³ воздуха при температуре 15°С и давлении 760 мм ртутного столба

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ – ускорение свободного падения

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНЕНИЯ

Таблица 1.1.

1.2.2. Основные характеристики. Из многочисленных характеристик морского волнения в качестве главной выбрана высота волн, которая совместно со средней скоростью ветра служит для общей оценки силы шторма в баллах. Соотношения между баллами силы ветра по шкале Бофорта и баллами волнения моря по шкале Главного управления гидрометеослужбы (ГУГМС) (СС) в соответствии со средней скоростью ветра и характерными высотами установившегося ветрового волнения даны в табл. 1.1. В ней приведена также словесная характеристика ветра и волнения и, кроме того, видимые признаки силы ветра и состояния поверхности моря.

Поскольку морское волнение носит нерегулярный (хаотический) характер, элементы последовательных волн (высота, длина и др.) неодинаковы, их чередование случайно и подчиняется вероятностным закономерностям. Вероятность m (в %) того факта, что высота волн окажется больше заданной величины $h_m\%$, называется обеспеченностью и определяется в районах больших глубин моря согласно закону Релея. В отечественной практике в качестве характерной принята высота волн 3%-ной обеспеченности $h_{3\%}$ (см. табл. 1.1). Например, если $h_{3\%} = 6$ м, то это означает, что из 100 последовательно бегущих волн в среднем только три волны будут иметь величину, равную или большую 6 м.

За рубежом ориентируются в основном на так называемую высоту «значительных» волн (или «значительную» высоту волн) $h_{1/3}$, которая имеет обеспеченность 13,5%. Эта высота может быть определена как средняя от одной трети наиболее крупных из всех наблюдаемых волн. Иногда используется также средняя высота волн h с обеспеченностью 45,6%. Между характерными высотами волн различной обеспеченности при одном и том же законе распределения вероятностей есть, разумеется, однозначное соответствие. Например, согласно закону Релея:

$$h_{3\%} = 1,33h_{1/3} = 2,11h. \quad (1.1)$$

Расчет величины $h_{3\%}$ по известной высоте волн m %-ной обеспеченности может быть проведен с помощью табл. 1.2.

Высота волн с обеспеченностью 0,1% условно принимается за наибольшую возможную в данном месте моря при шторме определенной силы. Из табл. 1.2 видно, что эта высота превышает $h_{3\%}$ примерно в 1,4 раза и больше средней высоты волн h примерно в 3 раза.

Таблица 1.2

Отношение высоты волн 3%-ной обеспеченности к высоте m %-ной обеспеченности

$m, \%$	0,1	0,5	1	2	3	4	5	10	13,5	20
$h_{3\%}$	0,72	0,81	0,87	0,95	1	1,04	1,09	1,23	1,33	1,48
$h_m\%$										

Продолжение табл. 1.2

$m, \%$	30	40	45,6	50	60	70	80	90	95	99
$h_{3\%}$	1,70	1,95	2,12	2,24	2,62	3,12	3,95	5,88	8,28	18,73
$h_m\%$										

Примечание. Обеспеченности 13,5% соответствует «значительная», а 45,6% — средняя высота волн.

Шкала ветра и морского волнения

Баллы по шкале Бофорта	Ветер			Морское волнение			Описание поверхности моря, озера, крупного водохранилища	
	Словесная характеристика	Скорость, уз (интервал)	Действие на судно и его оснастку	Баллы	Словесная характеристика	Высота волн 3 %-ной обеспеченности $h_{3\%}$, м		Высота «значительных» волн $h_{1/3}$, м
0	Штиль	0 (0—1)	Движение воздуха совершенно не ощущается, дым поднимается отвесно или почти отвесно; вымпел неподвижен	0	Отсутствует	0	0	Зеркально-гладкая поверхность
1	Тихий ветер	2 (1—3)	Ветер едва ощущается как легкое дуновение и то лишь временно. Дым поднимается наклонно, указывает направление ветра	I	Слабое	0—0,25	0—0,20	Рыбь
2	Легкий ветер	5 (4—6)	Ветер ощущается как непрерывный легкий поток воздуха. Слегка колеблются флаги и вымпелы	I	Слабое	0—0,25	0—0,20	Появляются небольшие гребни волн
3	Слабый ветер	8 (7—10)	Ветер развевает флаги и вымпелы. Дым вытягивается по ветру почти горизонтально	II	Умеренное	0,25—0,75	0,20—0,55	Небольшие гребни волн начинают опрокидываться, но пена не белея, а стекловидная
4	Умеренный ветер	13 (11—16)	Вытягивается вымпел	III	Значительное	0,75—1,25	0,55—0,95	Хорошо заметны небольшие волны, гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену — «барашки»
5	Свежий ветер	19 (17—21)	Вытягиваются и полощутся большие флаги. Ветер переносит легкие предметы	IV	Значительное	1,25—2,0	0,95—1,50	Волны принимают хорошо выраженную форму, пена обдувается «барашки»
6	Сильный ветер	25 (22—27)	Начинают гудеть провода и спанси	V	Сильное	2,0—3,5	1,50—2,65	Появляются гребни большой высоты, их пенящиеся вершины занимают большие площади, ветер начинает срывать пену с гребней волн
7	Крепкий ветер	31 (28—33)	Слышится свист ветра около всех снастей, палубных надстроек и сооружений. Возникают затруднения в ходьбе против ветра	VI	Сильное	3,5—6,0	2,65—4,50	Гребни очерчивают длинные вали ветровых волн; пена, срываема ветром с гребней волн, начинает вытягиваться полосами по склонам волн
8	Очень крепкий ветер	37 (34—40)	Всякое движение против ветра заметно затруднительно	VII	Очень сильное	6,0—8,5	4,50—6,40	Длинные полосы пены, срываемой ветром, покрывают склоны волн и, местами сливаясь, достигают их подошв
9	Шторм	44 (41—47)	Возможны небольшие повреждения в палубных надстройках и сооружениях, сдвигаются с места неукрепленные предметы	VIII	Очень сильное	8,5—11,0	6,40—8,30	Пена широкими, плотными, сливающимися полосами покрывает склоны волн, отчего поверхность становится белой; только местами в ложбинах волн видны свободные от пены участки
10	Сильный шторм	51 (48—55)	Возможны более значительные повреждения в оснастке судна и надстройках	VIII	Очень сильное	8,5—11,0	6,40—8,30	Поверхность моря покрыта пеной, воздух наполнен водяной пылью и брызгами; видимость значительно уменьшена
11	Жестокий шторм	59 (56—63)	То же	IX	Исключительное	Более 11,0	Более 8,30	Поверхность моря покрыта плотным слоем пены. Горизонтальная видимость ничтожна. То же.
12	Ураган	64	Ветер производит опустошительные разрушения	IX	Исключительное	Более 11,0	Более 8,30	

Примечание. Средняя скорость ветра и высота «значительных» волн даны округленно.

ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ПЛАВАНИЯ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ШТОРМА

1.1.1. Качка. Основной причиной изменения курса, скорости, а иногда и посадки судна в условиях шторма является стремление избежать сильной качки и таких явлений, как удары волн о корпус (слеминг), заливание палуб, понижение остойчивости и т. п.

Качка, как и любой колебательный процесс, характеризуется амплитудой (наибольшим отклонением от положения равновесия), периодом или частотой и разностью фаз колебаний судна и волнения. Иногда вместо амплитуды используется термин «размах качки», под которым понимается удвоенная амплитуда, а вместо разности фаз — аналогичный по содержанию термин «сдвиг фаз».

Для того чтобы судно обладало хорошей мореходностью, его качка должна быть плавной и умеренной, т. е. иметь большие периоды и малые амплитуды. Кроме того, на положении судна относительно волн существенно сказывается разность фаз. Так, например, если в момент наибольшего дифферента на нос у носа находится подошва волны, разность фаз считается благоприятной, если вершина — неблагоприятной.

Добиться увеличения периода бортовой качки судна, находящегося в условиях эксплуатации, можно за счет такого распределения грузов по высоте, при котором остойчивость не будет чрезмерно большой, так как этот период обратно пропорционален корню квадратному из метacentрической высоты. Однако уменьшение остойчивости зачастую является опасным.

Некоторое увеличение периода килевой качки можно получить за счет увеличения момента инерции масс судна, т. е. расположения тяжелых грузов в оконечностях. Однако реальные возможности такого распределения нагрузки, во-первых, слишком малы для сколько-нибудь заметного влияния на период килевой качки, а во-вторых, оно препятствует обеспечению общей прочности судна на волнении. Период вертикальной качки не зависит от распределения грузов ни по длине, ни по высоте судна и при данном количестве груза его изменить нельзя. Практически он обычно близок к периоду килевой качки. Таким образом, возможности судоводителя увеличить период качки судна весьма ограничены и могут быть реализованы только применительно к бортовой качке.

Амплитуды и фазы качки существенно зависят от скорости судна и его курса по отношению к волне. Изменяя режим движения, т. е. целенаправленно выбирая курс и скорость, судоводитель может добиться умеренной качки и избежать опасных последствий шторма. К таким последствиям в первую очередь относится возможность гибели судна вследствие опрокидывания или перелома корпуса.

Опрокидывание чаще всего наступает при положении судна лагом к волне за счет чрезмерно больших наклонений, вызванных волнением и траверсным ветром. На косом попутном волнении (волна в раковину) опрокидывание может произойти вследствие как сильной качки, так и пониженной остойчивости.

Понижение остойчивости является основной причиной гибели судов на чисто попутном волнении. Особенно опасным с этой точки зрения является случай, когда длина и скорость судна равны длине и скорости волны.

Причиной опрокидывания судов относительно малой длины (до 20—25 м) может являться также совокупность их захвата и разворота попутной волной, получившая название «брочинг». Сущность брочинга состоит в следующем.

При движении судна на попутном волнении волны сообщают ему дополнительную энергию. Когда длина волны примерно равна длине судна, эта дополнительная энергия может оказаться достаточной для того, чтобы скорость судна достигла скорости волн и оно начало двигаться с такой скоро-

стью. Это явление называется захватом судна попутной волной. В захваченном состоянии судно становится неустойчивым на курсе и, находясь на переднем склоне волны, входит в самопроизвольную циркуляцию, стремясь стать лагом к волне. В этом положении возникают значительные бортовые наклоны судна, которые и вызывают опрокидывание. По этой причине для судов длиной менее 20 м на попутной волне равной или большей длины Правлялами Регистра СССР (п. 1.4.12.7 части IV — «Остойчивость») скорость (в узлах) ограничивается величиной $1,4 \sqrt{L}$, где L — длина судна [20].

Опасным с точки зрения опрокидывания является также смещение сыпучих и лесных грузов, возникающее вследствие лотрового крена и бортовой качки.

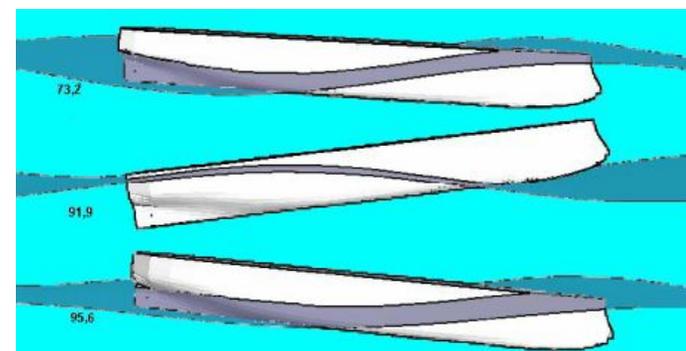
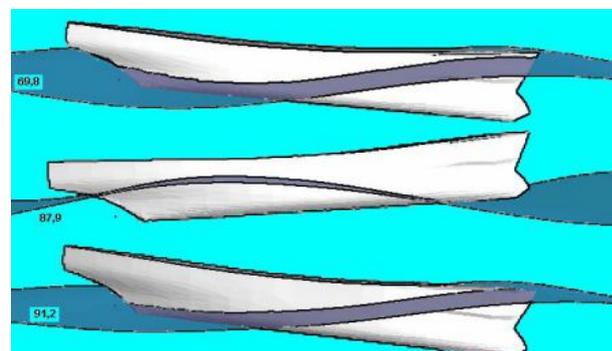
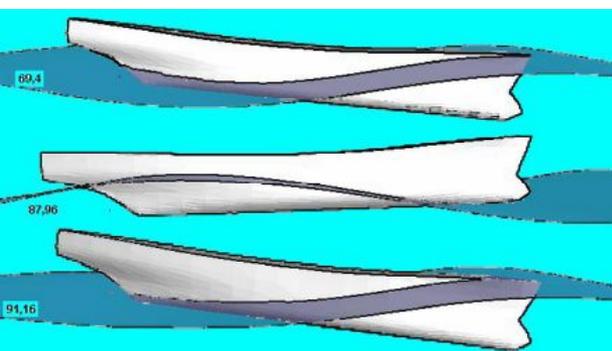
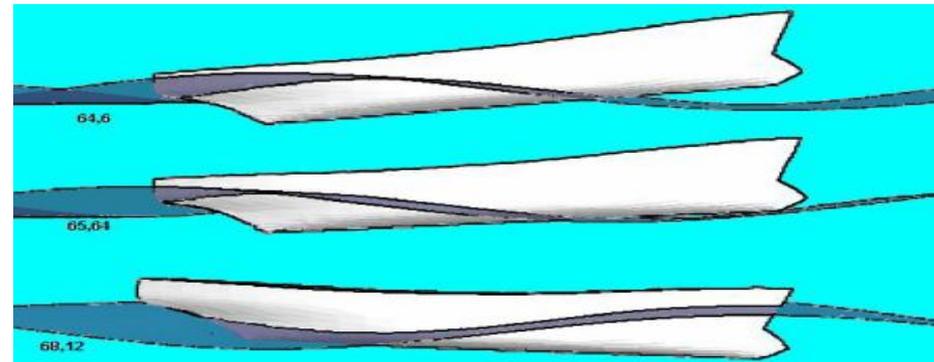
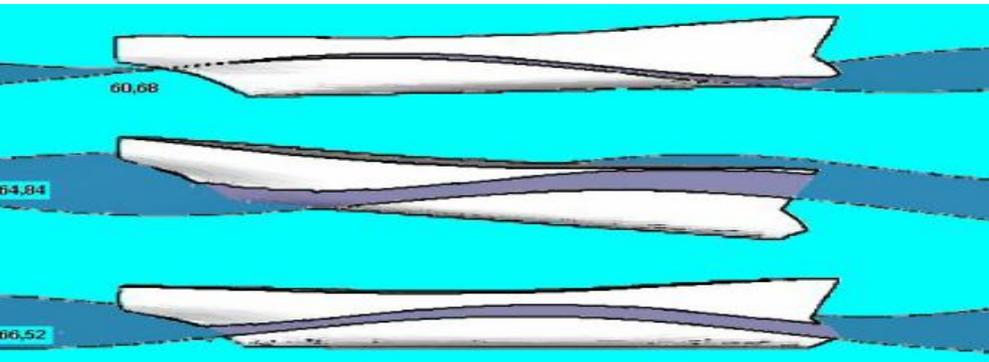
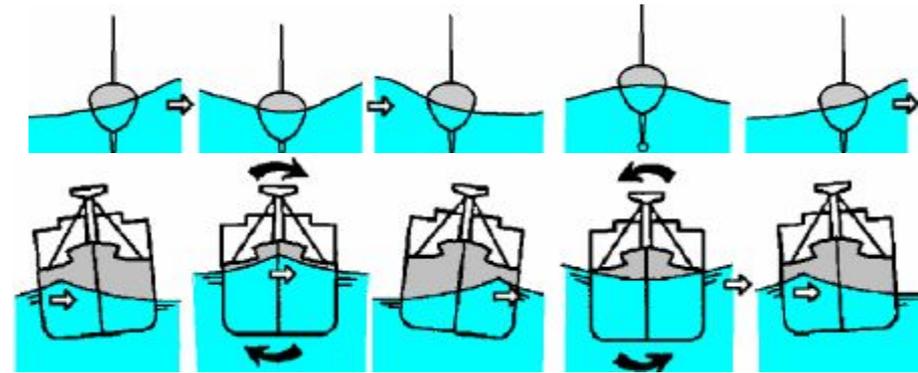
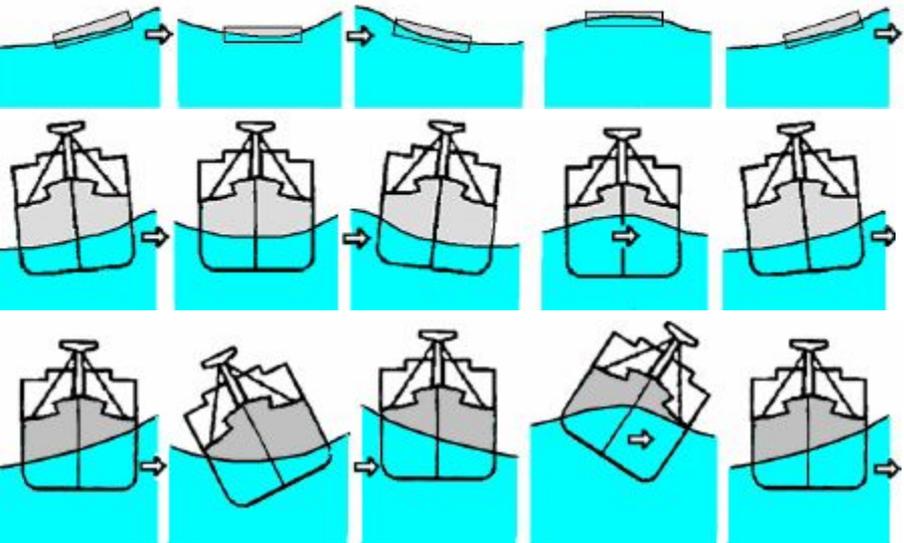
В условиях качки на курсах вразрез волне и по волне вследствие периодического изменения величины и формы погруженной части судна, а также скоростей и ускорений качки на корпус действуют знакопеременные гидродинамические нагрузки, вызывающие его изгиб в вертикальной плоскости, а на косом волнении, кроме того, изгиб в горизонтальной плоскости и скручивание. Эти нагрузки, и в первую очередь изгибающий момент в вертикальной плоскости, могут привести к перелому корпуса.

К счастью, несмотря на известное несовершенство правил морской практики, ограниченность наших знаний механизма воздействия на судно гидрометеорологических факторов и наличие субъективности в оценке судоводителями штормовой обстановки, в подавляющем большинстве случаев шторм не приводит к таким трагическим последствиям, как гибель судна. Вместе с тем снижение его технико-экономических показателей, ухудшение обитаемости, стрессовые условия работы экипажа сопровождают почти любой рейс в условиях более или менее тяжелого шторма.

Под действием возникающих при качке инерционных сил может быть нарушена прочность мачт, судовых устройств, крепления палубных грузов; совместное действие инерционных и гироскопических сил затрудняет работу главных и вспомогательных механизмов; при значительной скорости судна на относительно коротких встречных волнах может появиться волновая вибрация корпуса.

Длительное воздействие линейных ускорений на вестибулярный аппарат внутреннего уха человека является причиной болезненного состояния экипажа и пассажиров, называемого укачиванием или морской болезнью. Люди, впервые находящиеся на качающемся судне, страдают морской болезнью примерно в 90% случаев, а имеющие некоторый «опыт» — вдвое реже. Вовсе не проявляют признаков укачивания на море всего 6—8% людей. Основными симптомами морской болезни являются головокружение, холодный пот, тошнота, рвота, в легких случаях — чувство усталости и головная боль. Для профилактики укачивания применяются так называемые противогистаминные препараты (димедрол и др.), однако они не всегда оказываются эффективными. Кроме того, ряд препаратов этой группы вызывает общую слабость и сонливость, в связи с чем их не должен принимать экипаж, работа которого требует быстрой психической и двигательной реакции. Безотказно действующих фармакологических средств для борьбы с укачиванием не существует, а специальная физическая тренировка во многих случаях также не достигает цели. Неблагоприятные последствия бортовой и килевой качки проявляются, как правило, тем сильнее, чем больше ее амплитуды.

КАЧКА



ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ПЛАВАНИЯ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ШТОРМА

Таким образом, выбирая безопасный режим штормового плавания, судоводитель должен стремиться к уменьшению амплитуд качки, а при движении на попутном волнении, кроме того, избегать таких скоростей, которые сопровождаются понижением остойчивости.

Как известно, резкое увеличение амплитуд бортовой или килевой качки наступает при равенстве периода возмущающей силы (кажущегося периода волны) и соответствующего периода собственных колебаний судна. Это явление называется резонансом и, строго говоря, имеет место только на регулярном волнении, когда все волны одинаковы, т. е. каждая последующая волна является точной копией предыдущей. Резонанс вертикальной качки на регулярном волнении наступает практически совместно с резонансом килевой.

На нерегулярном волнении понятие резонанса является условным. Как показывает практика мореплавания, резкое возрастание амплитуд бортовой и килевой качки имеет место при равенстве среднего кажущегося периода волны и соответствующего периода собственных колебаний. Как следует из теоретических расчетов, это явление должно наступить при равенстве кажущегося периода гармоник, отвечающей максимуму кривой спектральной плотности уклона изволнованной поверхности, и периода собственных колебаний судна при бортовой или килевой качке. Однако, как будет показано в гл. II, период гармоник, отвечающей максимуму кривой спектральной плотности уклона изволнованной поверхности, очень мало отличается от среднего периода волны. Таким образом, теоретические расчеты и опыт мореплавания приводят к одинаковым результатам и дают основание назвать резонансом бортовой или килевой качки на нерегулярном волнении совпадение среднего кажущегося периода волн и соответствующего периода собственных колебаний судна.

Кажущийся период волны зависит от ее длины, курса и скорости судна, и на мелководье, кроме того, и от глубины. Отсюда следует, что целенаправленно выбирая курс и скорость судна, можно уклониться от резонанса, избежать понижения остойчивости и выдержать шторм, не подвергая судно излишней опасности.

Исключение по возможности резонансной бортовой и килевой качки, а также уменьшения ударов волн по корпусу, заливания и забрызгивания палубы предписывается п. 5.6.2. НШС—82. Для решения этих задач и служат штормовые диаграммы.

Изменение курса судна отражается на амплитудах качки более сложным образом, чем непосредственно через кажущийся период волны. Поэтому нельзя гарантировать уменьшения амплитуд, если, избегая резонанса бортовой качки, судоводитель изменит курс на более близкий к курсу лагом. Вместе с тем универсальные диаграммы дают возможность при неизменном курсе определить диапазон скоростей, отвечающий максимальным и умеренным амплитудам качки.

1.1.2. Потеря скорости судна. Скорость судна на волнении всегда меньше, чем в тихую погоду, в силу следующих основных причин:

увеличения сопротивления движению судна, порожденного как непосредственным воздействием на корпус ветра и волн, так и их вторичным влиянием через различные виды качки и рыскание судна на курсе;

снижения эффективности действия гребного винта вследствие увеличения его нагрузки, изменения характера обтекания лопастей и колебаний погружения;

ограничения используемой мощности главной энергетической установки либо вводимого системой автоматической защиты двигателя от перегрузок, либо намеренно предпринимаемого механиком при чрезмерных колебаниях частоты вращения двигателя, подачи топлива в двигатель и других его параметров вследствие разгона гребного винта;

намеренного снижения скорости судна судоводителем при возникновении опасных для судна или груза явлений: ударов корпуса о волны (слеминг, удары волн в развал носа), заливания палубы и надстроек, чрезмерных ускорений при качке и др.

Первые два (и частично третье) обстоятельства ведут к естественной (или автоматической) потере скорости, а остальные — к так называемому вынужденному (намеренному) ее снижению.

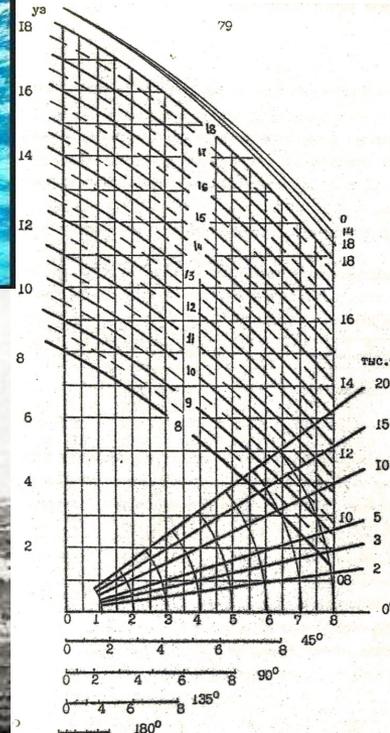
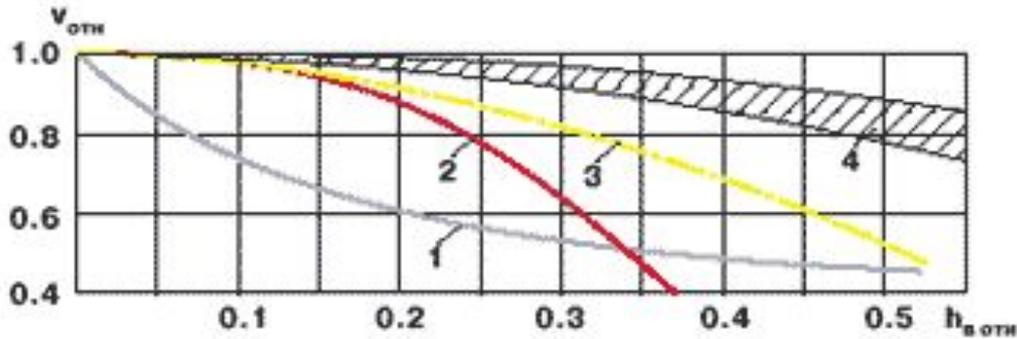
Основная часть естественной потери скорости судна обусловлена средним дополнительным сопротивлением, которое вызвано ветром и волнами. Это дополнительное сопротивление не зависит от сопротивления движению судна на тихой воде. Ветровое сопротивление пропорционально площади поперечной проекции надводной части судна и квадрату относительной скорости ветра. Оно различно для судов разного архитектурного типа.

Дополнительное среднее сопротивление, вызванное развитыми ветровыми волнами, для конкретного судна тесно связано с вертикальной и килевой (продольной) качкой. Оно наибольшее при усиленной продольной качке в области резонанса. Бортовая качка и рыскание судна на курсе оказывают во много раз меньшее влияние. Величина дополнительного сопротивления волн увеличивается примерно прямо пропорционально скорости судна и нелинейно зависит от высоты волн.

Для различных судов дополнительное сопротивление на волнении зависит от формы обводов, соотношения главных размерений и продольного распределения грузов. Определяющее влияние оказывают отношение ширины к длине B/L , коэффициент общей полноты δ и относительный продольный радиус инерции массы судна r_{ϕ}/L , увеличение которых приводит к росту дополнительного сопротивления. При одинаковой степени волнения дополнительное сопротивление относительно больше у судов с полными обводами и меньшей длиной.

Ветровое сопротивление может преобладать на умеренном волнении при малых скоростях хода судна, но при интенсивном шторме главную роль играет дополнительное сопротивление, обусловленное волнением. Увеличение сопротивления относительно больше на малых скоростях судна, поэтому тихоходные суда больше теряют ход на волнении, чем быстроходные.

ПОТЕРЯ СКОРОСТИ



Тип судна	Встречный ветер				Боковой ветер				Попутный ветер			
	Сила ветра, баллы шкалы Бофорта											
	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Быстроходные суда (скорость более 19 узлов)	0	+6	+16	+43	0	+2	+5	+11	0	+1	+2	+3
Суда большого тоннажа (свыше 8 тыс. рег. т и скоростью 15–16 узлов)	0	+10	+22	+74	0	+2	+6	+27	0	+1	+1	+3
Суда среднего тоннажа (до 6 тыс. рег. т и скоростью 12–14 узлов)	0	+23	+46	+102	0	+13	+22	+49	-2	-1	-1	+4
Малые суда (менее 4 тыс. рег. т и скоростью 10 узлов)	0	+25	+88	+248	-3	+5	+21	+45	-4	-3	0	+5

Процентное увеличение продолжительности переходов (в процентах ко времени перехода при штилевой погоде)



ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ПЛАВАНИЯ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ШТОРМА

Изменение курсового угла волн q существенно влияет на дополнительное сопротивление. Характер этого влияния зависит от архитектурного типа судна, но в общем траверзный ветер, вызывая дрейф, непосредственно не создает сопротивления, а на полутных курсах ветер помогает движению. Это, однако, обычно не приводит к увеличению скорости судна при сильном попутном ветре, так как сопротивление на волнении всегда растет, а общий эффект оказывается в пользу ветра только на волнении не более 3—4 баллов или на малом ходу.

При отклонении курса судна до 30—40° от встречного ветра и волнения дополнительное сопротивление может возрастать, что вызывается не только непосредственным влиянием ветра, волнения моря и качки, но и повышенным рисканьем судна на курсе.

Нужно ясно представить себе, что при одинаковом сопротивлении судов на волнении потеря скорости может быть различна, так как она зависит еще от типа пропульсивной установки и запаса мощности. Наибольшей скорости судно достигает при равенстве предельной полезной тяги винта полному сопротивлению движению. Предельную полезную тягу винт развивает, когда двигатель работает по заградительной характеристике, ограничивающей мощность и частоту вращения двигателя при перегрузках в эксплуатации. У дизеля, например, это ограничение более жесткое, чем у паровой турбины. Кроме того, пропульсивный коэффициент судна падает с ростом сопротивления из-за снижения эффективности гребного винта, которое зависит от его гидродинамических качеств. ВРШ, например, имеют тут преимущество перед обычными винтами.

Все описанные особенности учитываются при построении пропульсивных штормовых диаграмм, основанных на детальном анализе ходкости судна на волнении, условий заливания и слеминга.

1.1.3. Слеминг. Слеминг (днищевой) возникает в процессе продольной качки при оголении носовой оконечности и последующем соударении с волной. Большие динамические нагрузки могут привести к серьезным повреждениям конструкции корпуса и оборудования. Так, например, на теплоходе «Орехов» в результате слеминга прогнулось на 160 мм все днищевое перекрытие второго трюма, при этом деформировался весь днищевой набор.

Особенности слеминга как физического явления определяются в основном совместным выполнением двух условий: оголением днища и входом c_0 в воду с вертикальной скоростью относительно воды, большей (3 : 4) U/L , м/с.

Частота ударов зависит при этом, главным образом, от осадки судна носом, от амплитуды и частоты колебаний уровня воды на борту при продольной качке. Уже на волнении 6 баллов частота ударов может быть очень велика — например, теплоход «Омск», имея осадку носом T_n 1,5 м, при ходе

разрез волне испытывал 30—40 ударов в час при скорости 10 уз. Надо, однако, ясно понимать, что не всякие удары опасны. Наибольшая частота ударов приходится на крайние носовые сечения (они совершают наибольшие колебания), имеющие, как правило, большую прочность и килеватость днища. Поэтому они не испытывают остаточных деформаций при ударе о воду. Слеминг опасен тогда, когда давление удара превышает по величине нагрузку, вызывающую остаточные деформации или трещины днищевых перекрытий.

Такие удары встречаются значительно реже, они приходится обычно на район (0,15 : 0,25) L от носа, где форма днища приближается к плоской, а его местная прочность меньше. Воздействие опасных ударов распространяется на конструкции корпуса, расположенные на расстоянии до 0,4 L от носа. Заметно, что измерения на испытаниях судов пики давления при слеминге достигают 1,6 МПа (16 ат), а «несущая способность» днищевых перекрытий в опасном районе у обычных транспортных судов — в среднем от 0,3 до 0,9 МПа (от 3 до 9 ат).

Существенно, что вероятность опасных ударов тем больше, чем больше высота волн и скорость судна. Наблюдаются они на встречном волнении в широком диапазоне курсовых углов. Поэтому отклонение по курсу от чисто встречного движения не всегда является эффективным средством избежать опасного слеминга и этого легче добиться снижением скорости либо увеличением осадки судна носом.

Очевидно, что информация о том, как технически обоснованно изменить скорость, курс судна или осадку носом, чтобы избежать опасного слеминга, должна быть обязательно включена в рекомендации для капитанов.

1.1.4. Заливание палубы и удары волн в развал носа судна. Эти явления вызывают повреждения бака, палубного оборудования, трубопроводов (на танкерах), конструкций люковых закрытий, палубного груза, комингсов трюмов и порчи груза в трюмах. Прогибы палубы бака (с деформацией набора и трещинами) вследствие заливания зарегистрированы даже на танкерах дедейтом 50 тыс. т. Подобные повреждения наблюдались и на сухогрузных судах типа «Муром», «Ленинский комсомол», «Новгород», «Красноград».

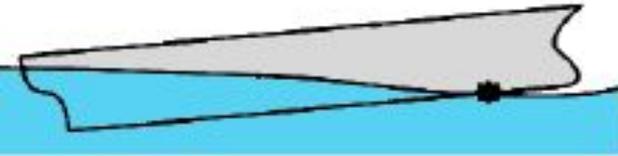
Удары волн в развал носа (так называемый «бортовой слеминг» или «вилинг») сами по себе вызывают вибрацию, вмятины в верхней части наружной обшивки носа и в палубе полубака. Анализ таких деформаций показывает, что максимальные динамические давления достигают 0,6—0,8 МПа (6—8 ат).

Многочисленные случаи повреждения груза в условиях шторма. Убытки от порчи и потери грузов растут пропорционально увеличению грузооборота флота, причем преобладающий вид порчи груза — его подмочка. Вероятность подмочки груза на практике оказывается примерно вдвое больше вероятности механических повреждений.

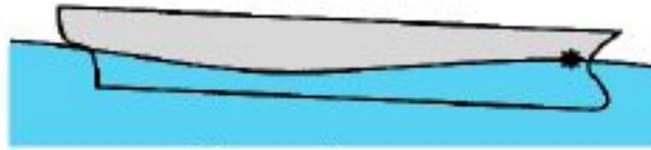
Крайне тяжелая аварийная ситуация возникает при вскрытии люков и попадании внутрь корпуса большого количества воды. Отрицательное влияние на остойчивость судна оказывают также подмочка палубного груза (леса и др.) и обледенение, а для малых судов — непосредственно задержка больших масс воды на палубе, в особенности, когда конструктивные особенности судна или палубный груз затрудняют сток воды за борт.

Опыт мореплавания и специальные исследования приводят к выводу, что безопасность судна по отношению к заливанию зависит прежде всего от высоты защищенного надводного борта в носу судна, от размаха и скорости колебаний уровня воды вдоль борта в процессе качки, от полноты носовых шпангоутов и их развала над ватерлинией, от прочности корпуса в районе бака, от длины бака и седловатости палубы. Существенное влияние оказывает скорость судна, при снижении которой на встречном волнении частота и сила ударов волн в развал и интенсивность заливания обычно уменьшается тем же, чем больше балльность волн. Изменив курс, можно уйти от ударов в развал, но трудно добиться снижения интенсивности заливания, так как колебания кромок палубы относительно воды могут возрастать в случае неблагоприятного сочетания килевых, вертикальных и бортовых перемещений при качке на косом волнении. Поэтому в отношении опасного заливания справедливо заключение, сделанное для слеминга: на встречном волнении в большин-

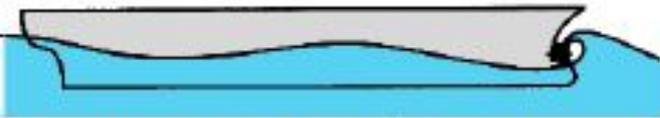
СЛЕМИНГ



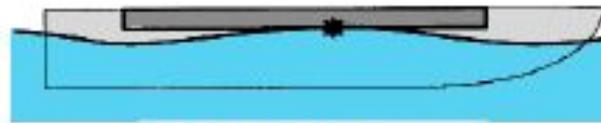
днищевой слеминг



бортовой слеминг



удар разрушающейся волны



слеминг моста катамарана

Виды слеминга

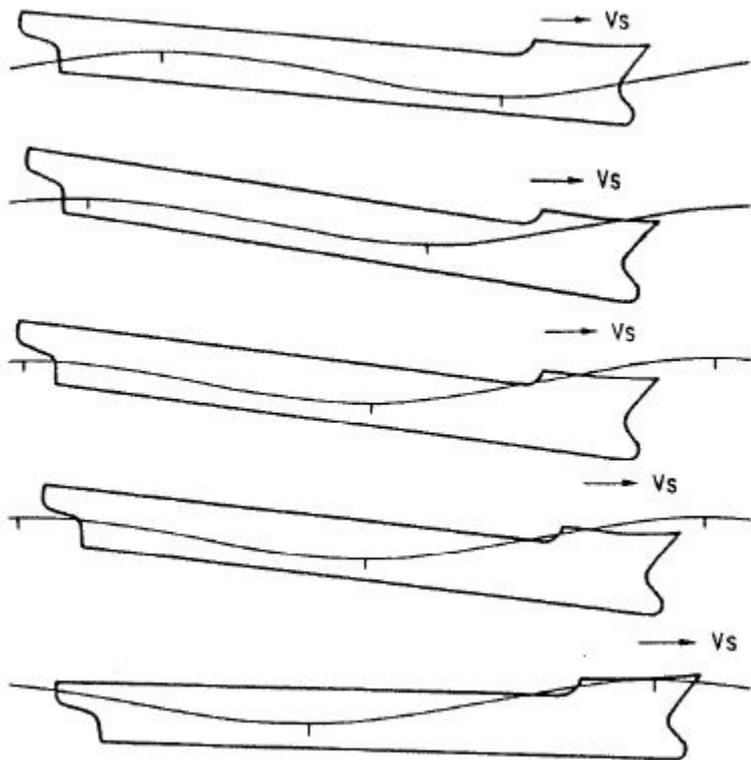


Днищевой слеминг

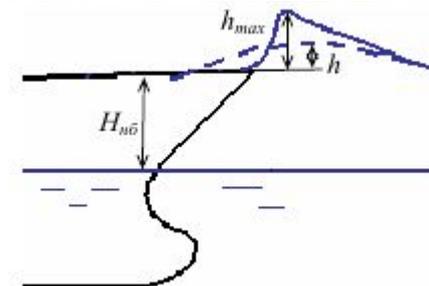
Примеры разрушений от удара волны



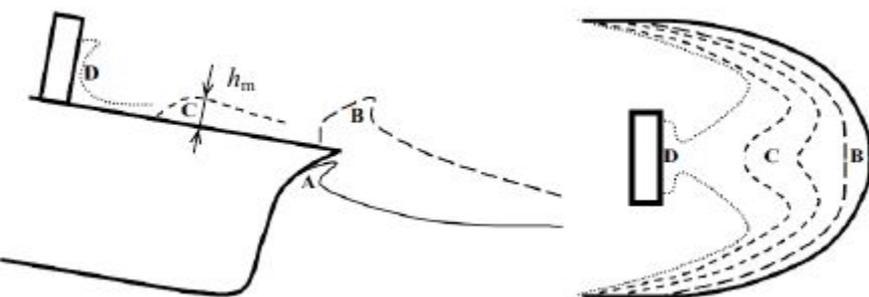
ЗАЛИВАНИЕ ПАЛУБЫ



Продольная качка судна с заливанием палубы



Параметры волны при заливании палубы



Основные фазы процесса заливания палубы



ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ПЛАВАНИЯ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ШТОРМА

стве случаев наиболее рационально снизить скорость судна либо изменить осадку носом. Последнее особенно эффективно, поскольку, например, на танкерах типа «Сплит» уменьшение надводного борта на 60 см вызвало на практике усиление заливания и ударов волн в переходной мостик, повреждения трубопроводов и механизмов на палубе. Очевидно, что соответствующие технические рекомендации помогут судоводителю правильно ориентироваться в опасной ситуации шторма.

1.1.5. Разгон гребного винта и двигателя. Неравномерная работа гребного винта и двигателя с забросом частоты вращения вызывает резким снижением гидродинамической нагрузки винта во время оголения лопастей вследствие качки. При разгоне двигателя нарушается его нормальный рабочий процесс, увеличивается износ деталей и снижается моторесурс. Переменные гидродинамические силы и моменты, действующие на винт при качке, могут привести также к поломке лопастей, конструкций гребного валопровода, вызвать вибрацию дала и кормы. Анализ повреждений гребных валов свидетельствует о том, что наиболее опасная нагрузка действует при оголении винта на волнении: как показали натурные измерения, напряжения в гребном валу могут возрасти в 2—3 раза.

Выход из строя винта и гребного вала наносит не только материальный ущерб, но и это главное, реально угрожает безопасности судна: оно лишено возможности маневрировать и может погибнуть в штормовую погоду.

Разгон винта происходит потому, что вследствие захвата атмосферного воздуха на лопастях падают средние за оборот гидродинамические силы, в том числе и сопротивление вращению винта; при этом возрастает поперечная пульсирующая нагрузка на вал из-за неуравновешенности сил по лопастям. Разгон винтов более вероятен для судов, у которых винты имеют малое погружение, большие нагрузки (т. е. удельные упоры), большие отношения шага к диаметру и частоты вращения.

При движении судна на волнении винт в процессе качки периодически подходит к поверхности воды, а его средняя нагрузка растет из-за дополнительного сопротивления и падения скорости судна. Поэтому вероятность разгона винта на волнении тем больше, чем больше высота волн, амплитуда продольной (а для двухвинтовых судов — и бортовой) качки и снижение скорости судна. Разгон винта может вызвать резкие забросы оборотов двигателя. Частота и величина этих забросов зависит от характеристик двигателя, от инерционности системы винт — вал — двигатель, от качества его системы автоматического регулирования. Разгон винта наименее опасен для турборедукторной пропульсивной установки и наиболее неблагоприятен для дизеля. Эффективными средствами избежать опасности разгона винта может служить увеличение осадки судна кормой или маневрирование скоростью на волнении путем снижения шага ВРШ. Понятно, что судоводители должны уметь рационально пользоваться этими средствами обеспечения мореходности своих судов.

1.1.6. О взаимосвязи причин изменения режимов штормового плавания. Завершая общее описание опасных последствий шторма, которые принимаются во внимание при разработке рекомендаций по выбору режимов плавания, обратим внимание на следующее немаловажное обстоятельство: эти последствия существенно взаимосвязаны и в определенных условиях шторма мероприятия по обеспечению мореходности могут носить противоречивый характер. Так, например, увеличивая осадку судна носом, защищают судно от слеминага, но при этом растет опасность заливания палубы или разгона винта и двигателя, если снижается осадка кормой.

Разработка конкретных технически обоснованных рекомендаций по выбору безопасного режима штормового плавания представляет собой достаточно сложную проблему системной оценки различных аспектов мореходности судна. Необходимо определить, в каких условиях и насколько следует изменить скорость, курс или посадку судна, чтобы, с одной стороны, безусловно обеспечить безопасность плавания, а с другой — не допустить излишней потери ходового времени.



СПОСОБЫ ШТОРМОВАНИЯ СУДНА

В условиях жестокого шторма при ураганном ветре и большом волнении судно попадает в условия, когда возникает задача сохранения самого судна. Хорошая морская практика выработала разные способы штормования в зависимости от загрузки судна, наличия палубных грузов, конструктивных особенностей судна и других условий.

Штормование на носовых курсовых углах. Этот способ штормования наиболее приемлем для судов, у которых полубак защищает палубу от заливания; полные обводы носовой части и дифферент на корму облегчает всплывание судна на волне. Для удержания судна носом к волне необходимо обеспечивать минимальный ход, достаточный для управления. При этом следует учитывать, что малая скорость судна требует частых и больших переключений руля. Если судно достаточно хорошо управляется, а бортовая качка не очень большая, то можно идти курсом не строго против волны, а встречать волну скулой. Крупнотоннажным судам рекомендуется для уменьшения изгибающих моментов на корпусе штормование на курсовых углах волнения 35 – 45.



СПОСОБЫ ШТОРМОВАНИЯ СУДНА

Штормование на кормовых курсовых углах. Этот способ заключается в том, что судно ложится на курс прямо по волне или под углом к ней. Способ возможен, если длина волны значительно отличается от длины судна. Его нужно применять при хорошей остойчивости и управляемости, т. к. судно должно идти с малой скоростью. При длине судна, соизмеримой с длиной волны, движение судна со скоростью, когда оно обгоняет волны, особенно опасно.



СПОСОБЫ ШТОРМОВАНИЯ СУДНА

Штормование лагом к волне. Этот способ штормования в большинстве случаев нежелателен. Он допустим для судов с достаточной остойчивостью и удаленностью от резонансной зоны по бортовой качке. При этом способе судно испытывает большие накренения, поэтому он неприемлем для судов с палубным грузом, с малым надводным бортом и большой остойчивостью (резкие углы крена с малым периодом).



СПОСОБЫ ШТОРМОВАНИЯ СУДНА

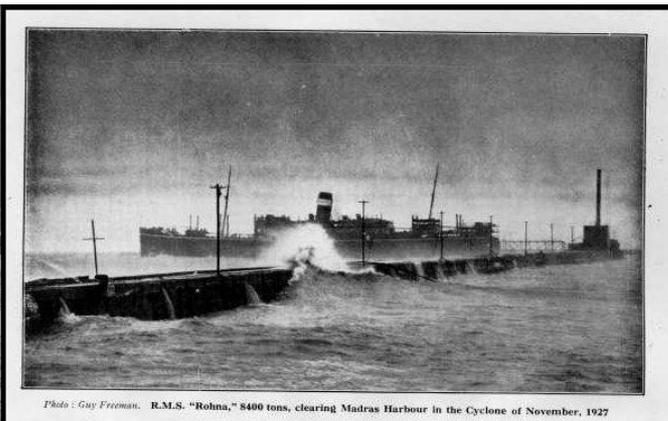
Штормование с застопоренной машиной. При этом способе штормования из-за загрузки, расположения центра парусности и своих конструктивных особенностей судно под воздействием ветра и волнения занимает определенное положение по отношению к волне. Обычно это положение лагом к волне или под небольшим углом к ней. Суда с большой устойчивостью будут испытывать большие и резкие углы накренения, которые очень опасны для палубного груза и судовых механизмов.

Дрейф судна с застопоренной машиной может быть пассивным, когда судно теряет управляемость и активным, когда для удержания и приведения против ветра и волны судно использует вытравленную цепь с якорем. Активный дрейф может быть как носом, так и кормой к волне.



СПОСОБЫ ШТОРМОВАНИЯ СУДНА

Штормование на якорях (якорях). Этот способ применим в том случае, когда сумма внешних сил не превышает держащую силу якорного устройства, а выбранное место якорной стоянки удовлетворяет условиям безопасности. Этот способ предусматривает отдачу второго якоря и подработку машиной для разворота судна против волны или под небольшим углом к ней.



ПОДГОТОВКА К ПЛАВАНИЮ В ШТОРМОВУЮ ПОГОДУ

Хорошая морская практика требует, чтобы независимо от района плавания и прогноза погоды судно перед выходом в рейс было готово к любым изменениям погоды. Поэтому подготовка к плаванию в штормовую погоду должна начинаться еще в порту, перед выходом в рейс, с момента получения рейсового задания. Составление грузового плана предусматривает обеспечение общей и местной прочности корпуса судна и его мореходных качеств как на момент выхода из порта, так и во время рейса. Перед выходом судна в рейс необходимо тщательно провести анализ предстоящих погодных условий рейса по всей имеющейся информации.

На этом этапе подготовки судна проводится ряд перечисленных ниже мероприятий:

- задраивают и проверяют горловины всех танков и отсеков, двери водонепроницаемых переборок;
- танки и цистерны или полностью заполняют или опорожняют так, чтобы в них не имелось свободных поверхностей жидкости;
- в грузовых помещениях проверяют льяла и приемные сетки, опробывают в действии водоотливные средства, проверяют исправность водомерных трубок;
- проводят внешний и внутренний осмотры корпуса и переборок;
- при загрузке грузовых помещений производят тщательную штивку и крепление груза;
- осматривают состояние люковых закрытий, проверяют плотность прилегания крышек к комингсам люков;
- при наличии палубного груза производят надежное крепление его найтовыми.

За подготовку судна к плаванию в штормовых условиях отвечают **старший помощник капитана и старший механик**.

При получении штормового предупреждения на район плавания необходимо выполнить следующее:

- проверить закрытие трюмов;
- проверить крепление палубного груза;
- проверить крепление грузовых стрел, кранов, спасательных шлюпок, плотов, дополнительно закрепить по штормовому судовое имущество по заведованиям ответственных;
- якоря берутся на дополнительные стопора, проводят цементирование якорных клюзов;
- задраить люки, двери, иллюминаторы;
- проверить исправность штормовых портиков, шпигатов и других отверстий для стока воды;
- с верхней палубы удалить все ненужные растительные и синтетические тросы, а также предметы, которые могут находиться во внутренних судовых помещениях;
- трюмные вентиляторы разворачивают по ветру и закрывают чехлами;
- обеспечивают свободный и безопасный проход по верхней палубе;
- обтягивают весь стальной такелаж и слегка ослабляют растительный;
- на верхней палубе протягивают штормовые леера из растительного троса, чтобы облегчить передвижение людей во время шторма.
- другие меры предосторожности, зависящие от особенностей судна.

Все подготовительные работы следует проводить заблаговременно, до наступления шторма, так как при сильном ветре, волнении и качке выполнение их становится трудоемким, а иногда и опасным.

Если по тем или иным причинам судно вынуждено пересекать штормовую область, то, помимо хорошей подготовки, безопасность плавания зависит от правильного управления судном.

Совершенно очевидно, что судоводитель должен управлять судном в шторм таким образом, чтобы при имеющихся мореходных качествах судна обеспечить своими маневрами минимальную качку, наименьшую заливаемость, выбрать наиболее эффективную скорость и не допускать больших напряжений в корпусе судна.

При соблюдении этих условий судно выйдет из борьбы со стихией без повреждений и придет в порт назначения в кратчайший срок

В процессе плавания судна в штормовых условиях на судне ведется постоянное наблюдение за изменением давления, ветра, температуры воздуха, волнения, облачности и другими признаками погоды.

УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ В ШТОРМ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое штормовые условия?
2. Как штормовые условия влияют на судно?
3. Что вызывает штормовые условия?
4. Почему для судна очень важна крутизна волны?
5. Что такое Шкала Бофорта?
6. Что такое волна 3% обеспеченности?
7. Как влияет качка на мореходность судна?
8. За счет чего происходит падение скорости при шторме?
9. Что такое слеминг и каковы его негативные последствия?
10. Каковы негативные последствия заливания палубы?
11. Какие Вы знаете способы штормования?
12. Каковы преимущества и недостатки штормования против волны?
13. Каковы преимущества и недостатки штормования по волне?
14. Каковы преимущества и недостатки штормования лагом к волне?
15. Каковы преимущества и недостатки штормования с застопоренной машиной?
16. Каковы преимущества и недостатки штормования на якоре?
17. На что следует обратить внимание при подготовке к плаванию в штормовую погоду и кто ответственен за подготовку?

УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ В ШТОРМ

Используемая литература.

1. David Ross. Power from the waves. Oxford University Press, 1995 - 212 pgs
2. Козирь Л.А., Аксютин Л.Р. Керування суднами в шторм. – Вид. 3-у. випр. I доп. – Одеса. – Фенікс, 2006 – 218 с.
3. К.В.Казанский, И.Г.Филиппов. Штормование судов – Москва– Транспорт,1968 – 109с.
4. Гордиенко А.И., Захарьян Р.Г. Плавание судов в особотяжких погодных усдовиях. Учеб. Пособие. – СПб.: ГМА им. Адм. Макарова, 2004. – 98с.
5. Cheslav Marchai. Teoria Zeglowania. – Warsawa, 1966
6. Липис В.Б., Ремез Ю.В. Безопасные режимы штормового плавания судов. Справочно-практическое пособие. – Москва: Транспорт, 1982. -117с.
7. Шарлай Г.Н. Управление морским судном./ Шарлай Г.Н. - Владивосток. : Мор.Гос.ун-т, 2009. -503 с.
8. Самойлов К.И. Морской словарь. – М. – Л. – Государственное Военно-морское Издательство НКВМФ Союза ССР, 1941
9. Чижумов, С. Д. Основы динамики судов на волнении: учеб. пособие / С. Д. Чижумов. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КНАГТУ», 2010. – 110 с

Подготовил

Доцент кафедры УС и БЖД на море ХГМА

К.Д.П., К.Т.Н.

Товстокорый О.Н.