



Морские медленные волны — не то, что рельсы в два ряда...

Евгений Курганов

*Корабль мой
упрямо качает
Крутая морская волна,
Поднимет и снова бросает
в кипящую бездну она...*

Хорошая морская практика рекомендует учитывать параметры качки, даже наполняя стакан. Очевидно, что качка зависит от характеристик нашего судна и воздействующих на него ветра и волн. А что же характеризует раскачивающую нас волну, откуда она пришла и что знает о ней современная наука? Вспомним кое-что существенное или интересное о волнах, гуляющих по водам речным, морским и океанским.

Начало накоплению знаний о происходящих в водной среде процессах было положено в тот момент, когда Человек Мыслящий стал еще и Человеком Плавающим. На протяжении всей истории мореплавания сбор фактических данных дополнялся попытками объяснения явлений, происходящих в воде и на ее поверхности. Волна — озерная ли, морская — всегда была главной опасностью водных пространств. Понимание процесса волнообразования является и важнейшим, и одним из наиболее сложных для изучения. Не бывает двух одинаковых волн, поэтому современная наука о волнах имеет два теоретических направления — нахождение физических законов волновых процессов и разработка статистических основ волнообразования, а на практике широко используются эмпирические формулы.

Волна, в общем случае — это изменение состояния среды или поля, распространяющееся в пространстве и связанное с переносом энергии без переноса массы. Все волны представляют собой не что иное, как движение энергии в различных средах — воздухе, воде, при этом перемещается форма движения, а не сами волны. Хорошей моделью морских волн служат волны, бегущие под ветром по полю пшеницы. В действительности каждый колос, наклоняясь, совершает только незначительное движение и, когда ветер ослабевает, возвращается в первоначальное положение. Так же двигаются частицы воды. Смещается форма, но не масса воды. Поэтому скорость волны бывает гораздо выше скорости любого потока воды — например, скорость цунами в Индийском океане в 2004 г. была порядка 800 км/ч. Если бы перемещались

не импульс энергии и форма волны, а толща воды, волны не могли бы развиваться скорости более 40 км/ч.

Для волн существует несколько типов классификаций. Благодаря большой подвижности частицы воды легко выходят из состояния равновесия и начинают колебаться под действием разного рода сил и стремящейся вернуть их в прежнее положение силы тяжести. Причинами, вызывающими появление волн, являются приливообразующие силы небесных тел, ветер, колебания атмосферного давления, подводные землетрясения и т.д. В соответствии с этим волны могут классифицироваться по вызвавшим их силам: ветровые — это волны, вызванные ветром и находящиеся под его воздействием; корабельные — создающиеся при движении корабля и тайфунов; приливные — возникающие под действием периодических сил притяжения Луны и Солнца; анемобарические — стоячие или сейши, возникающие при сгонах или нагонах воды и при резких изменениях атмосферного давления; сейсмические (цунами) — возникающие в результате динамических процессов, протекающих в земной коре, и в первую очередь подводных землетрясений. Далее мы подробнее рассмотрим каждый из типов волн.

В реальных условиях бывает сложно разобраться во всех особенностях наблюдаемой волны, но исследования и практика позволяют дать определения ее элементам:

- гребень — это часть волны, расположенная выше среднего уровня воды;
- вершина волны — высшая точка гребня;
- ложбина — часть волны, расположенная ниже среднего уровня воды (между двумя гребнями соседних волн);
- подошва — низшая точка ложбины между волнами;
- фронт волны — линия, проходящая вдоль ее гребня;
- луч волны — линия, перпендикулярная фронту волны;
- склон волны — часть волновой поверхности от подошвы до вершины.

Высота волны (h) — превышение вершины волны над ближайшей подошвой на профиле.

Длина волны (λ) — расстояние по

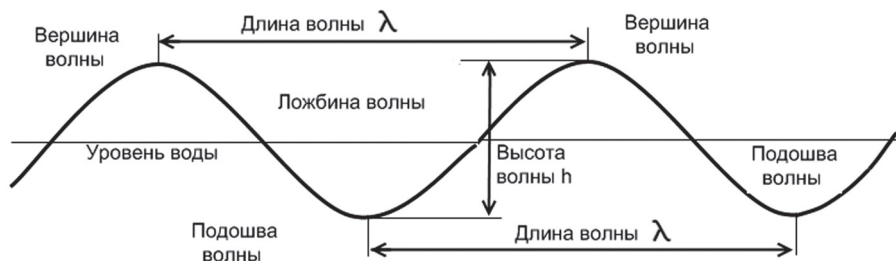


Рис. 1

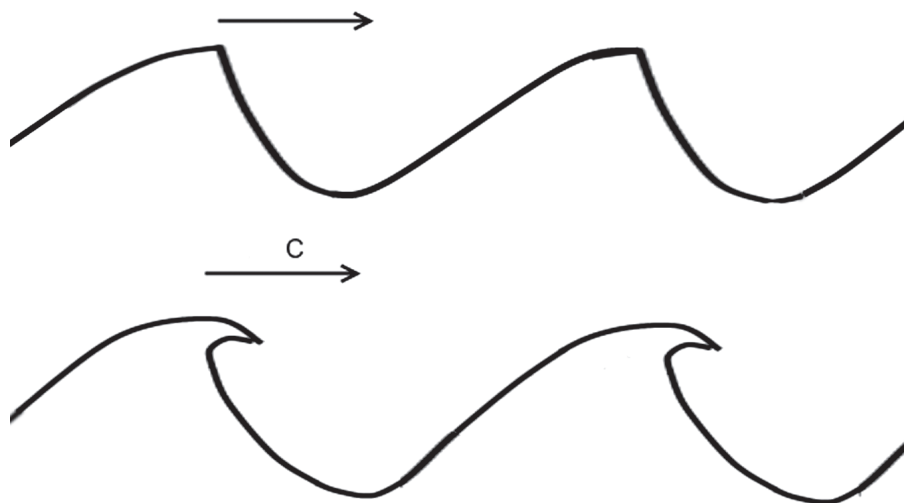


Рис. 2

горизонтали между двумя вершинами или двумя подошвами волны.

Крутизна волны (ε) — отношение высоты к длине ($\varepsilon = h / \lambda$).

Поскольку волна перемещается по поверхности воды, можно говорить о скорости волны (c) — расстоянии по горизонтали, пройденном любой точкой волны в единицу времени, а также о периоде волны (τ) — промежутке времени между прохождением через одну и ту же точку пространства двух последовательных гребней (или подошв) волны.

Скорость, длина и период волны связаны соотношением $c = \lambda / \tau$. Два известных параметра позволяют по этой формуле вычислить третий, и лишь высота волны не поддается вычислению и может быть получена только при непосредственных наблюдениях. Отметим, что из элементов морского волнения высота волны наиболее непостоянна — быстро возрастая, она быстро и уменьшается.

Ранее мы отмечали, что горизонтальное перемещение воды в направлении бега волны отсутствует, но правильнее говорить о незначительности поступательного движения масс воды

на поверхности по сравнению с вертикальными колебаниями в результате волнового процесса. Сочетание горизонтального движения и вертикального перемещения, вызываемого подъемом на гребнях и опусканием в ложбинах, приводит к круговому движению частиц воды. При этом поверхностные частицы смещаются в направлении ветра, а нижние — в обратном направлении. Каждая частица описывает круговую траекторию в вертикальной плоскости волны, радиус этих орбит уменьшается с глубиной, стремясь к нулю. Идет движение по круговой орбите с крайне малым общим смещением водной массы, хотя форма волн все время меняется, производя впечатление бега волн.

Обычно волновые движения отличаются хаотичностью беспорядочно возникающих и быстро опадающих водяных холмов. Редко удается увидеть последовательность правильных, с ясно выраженными гребнями волн. Однако для начала рассмотрим именно такую ситуацию. Кривая, полученная в результате сечения взволнованной поверхности вертикальной плоскостью в направлении распространения волн,

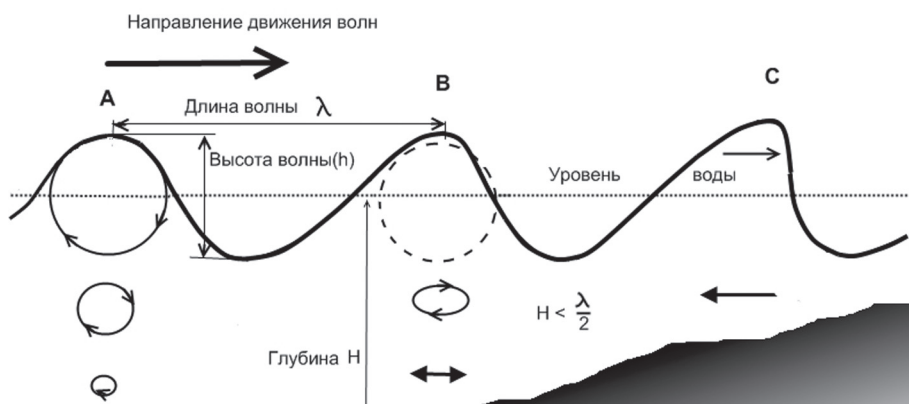


Рис. 3

называется волновым профилем. Правильная синусоидальная форма профиля волны, показанная на рис. 1, является одним из возможных вариантов. В природе таким профилем обладают волны «мертвой» зыби, у которых высота мала по сравнению с длиной, и приливные волны, длина которых по сравнению с их высотой чрезвычайно велика.

Но наиболее характерны волны с пилообразным профилем. Это, прежде всего, ветровые волны, появляющиеся при усилении ветра. Профиль этих волн лишен симметричности волн зыби. Гребни у них уже ложбины, передние склоны круче задних. При дальнейшем усилении ветра и при выходе волны на мелководье ($H < 0.5 \lambda$) начинает развиваться обрушение гребня.

Рассмотрим, что происходит с волной, подходящей к берегу из района с большими глубинами и при безветрии (рис. 3). Пока глубины остаются несоизмеримо большими по сравнению с длиной волны, ее профиль остается похожим на синусоиду, частицы воды

около поверхности колеблются, двигаясь по окружности, с амплитудой, равной высоте волны. На рисунке эта стадия обозначена буквой А. Даже там, где к берегу подходит мощный океанский накат, мечта серфингиста, правильная, длинная и пологая волна может, казалось бы, угрожать только морской болезнью. В такт, с тем же периодом, что и на поверхности, но по окружностям, радиусы которых уменьшаются с глубиной, колеблются слои воды, лежащие ниже. На некоторой глубине движение волн по поверхности не ощущается вовсе. Исследования показали, что на глубинах порядка 200 м колебания воды ничтожны даже для очень крупной поверхностной волны.

Поведение волны изменяется, когда она приближается к глубинам, меньшим половины ее длины (стадия В). Дно моря начинает активно влиять на орбитальное движение воды в волнах. «Волна встает на дыбы, как только почувствует почву под ногами, а затем летит кувырком, разбиваясь на прибрежной отмели или рифах». Говорят, что волна «чувствует дно», т.е. возник

ает трение о дно. Именно в этот момент серфингисты начинают из всех сил грести, разгоняя доску, чтобы начать скольжение по крутому переднему склону и «оседлать» волну.

«Чувство дна» заставляет энергию волны, которая до этого была распределена равномерно, сжиматься и искать выход. Выбирая путь наименьшего сопротивления, волна растет вверх, заставляя расти в высоту гребень волны. Основание волны начинает замедляться дном. Частицы воды на дне волны больше не могут завершить движение по своим орбитам — орбиты приобретают эллиптическую форму и вытягиваются в длину. Волна вытягивается вверх и становится настолько высокой, что больше не может сохранять форму. Частицы на гребне движутся по своим вытянутым эллиптическим орбитам быстрее, чем частицы в основании волны. При глубине, составляющей 1.3 высоты волны (стадия С), волновой гребень начинает наклоняться вперед под углом, превышающим 60° , и, образуя завиток, падает. На какое-то время обгоняющий волну и обрушивающийся гребень создает некое подобие вращающейся водяной трубы, в которой, касаясь рукой стены воды, лихо скользит поперек склона серфингист.

Набегание волн на отлогий берег с увеличением по высоте и крутизне и последующим опрокидыванием на берег называется прибоем. Над банками и рифами образуются буруны, служащие признаком подводной опасности. Важно, что по бурунам и обрушению волн можно судить о наличии мелководий, которые не обязательно возвышаются над поверхностью воды.

МОТОРНЫЕ КАТАМАРАНЫ TIGARBO®

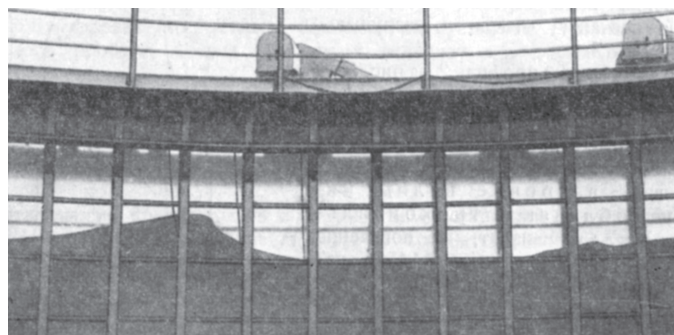
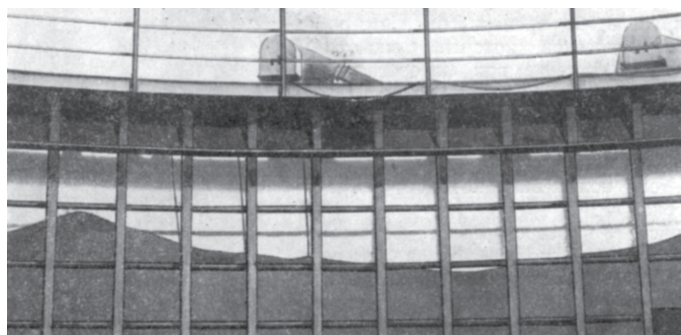


Идеальное решение для отдыха на воде!



ЗАО «КОМЗ-Экспорт». Ростовская обл., г. Каменск-Шахтинский, мкр-н Заводской, ул. Заводская, 16; тел. 8 (86365) 63-191, 63-033; katamaran@tigarbo.ru, dp@tigarbo.ru; www.tigarbo.ru

Несмотря на значительные достижения гидрологии и океанологии, продолжается изучение динамических процессов, сопровождающих образование волн. Очевидна трудность наблюдения волн в штормовом море и выявление законов, которым они подчинены. Поэтому для обеспечения безопасности плавания, а также нужд гидротехнического строительства было совершенно необходимо разработать методику расчетов и прогнозов элементов волнения и других океанографических параметров. Для решения этих и других научно-исследовательских задач 80 лет назад,



Аэродинамический канал с кольцевым «штормовым бассейном», по верху которого установлено несколько мощных вентиляторов, был построен в Кацивели в 1953 г. Благодаря прозрачным стенкам здесь можно вести наблюдения за профилем волны, кино- и фотосъемку. Внизу справа — волна в стадии разрушения. Фото из книги В.В.Шулейкина «Дни прожитые».

в 1929 г. тогда еще в СССР, в Крыму, в поселке Кацивели была создана стационарная Черноморская гидрофизическая станция, позже преобразованная в экспериментальное отделение Гидрофизического института АН СССР.

Здесь были выполнены фундаментальные исследования почти по всем разделам физики моря. Научные достижения Морского гидрофизического института связаны с именем академика В.В.Шулейкина, создавшего физическую теорию морского волнения и осуществившим обширный цикл исследований тепловых явлений в океане, теплового взаимодействия между океаном, атмосферой и материками и влияния океана на климат и погоду. Результаты этих работ не потеряли своей актуальности и в настоящее время.

Для изучения составляющих баланса энергии волн, а также их кинематики и динамики основатель станции В.В.Шулейкин спроектировал и построил в 1953 г. в Кацивели аэродинамический канал, или штормовой

бассейн. Кольцевой канал с внешним диаметром 40 м имеет ширину 2 м и высоту стен 5.6 м. Толщина слоя морской воды, наливаемой в канал, может достигать трех метров. Установленные над поверхностью воды 21 мощный вентилятор по 13 кВт каждый могут создавать воздушный поток, скорость которого достигает 19 м/с. При скорости ветра 12–14 м/с установившиеся волны достигают 1.2–1.5 м высоты при длине 20–25 м. Благодаря тому, что бассейн построен в форме замкнутого кольца, путь волн не имеет ни начала, ни конца, а ветер воздействует на них непрерывно на всем его протяжении, вызывая рост волн подобно тому, как это происходит на морских просторах. На протяжении 20 м по периметру канала стенки бассейна застеклены, благодаря чему удобно вести наблюдение и видеосъемку волн на просвет, фиксируя процесс их образования.

Работы в штормовом бассейне позволили академику Шулейкину получить универсальные рабочие диа-

граммы, позволяющие определять высоту, длину и период ветровых волн по скорости ветра, времени его действия и заданным географическим условиям. Эти диаграммы до сих пор применяются в научных исследованиях и оперативных прогнозах для расчета ветровых волн в Мировом океане и внутренних морях.

В 1982 г. в полукилометре от берега на фундаменте, который находится на 35-метровой глубине, была установлена уникальная, первая в Европе океанографическая платформа для гидрофизических исследований. Работать на ней приезжали ученые из США, Голландии, Франции.

Создание Гидрофизического института и комплекса Черноморской гидрофизической станции в непростые послевоенные годы, когда не прошло и десятка лет после окончания самой разрушительной войны прошлого века, свидетельствовало о значении, придававшемся в СССР развитию науки и, в частности, океанографии.