

УДК 53.05

ГЕНЕРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ СТРУКТУР ДВИЖУЩИМСЯ ВИБРАТОРОМ ПО ПОВЕРХНОСТИ ГЛУБОКОЙ ВОДЫ

В. Д. Федотов

НИИ тепло- и массообмена БАН, Минск, Белоруссия

Описан опыт по исследованию процесса преобразования поверхностных волн из круговых замкнутых в разорванные прямые и изложены результаты опыта. Волны создавались движущимся вибратором в неподвижной воде. В отсутствие движения вибратора образуются круглые, строго концентрично расходящиеся волны, известные как поверхностные волны глубокой воды. При движении вибратора формы расходящихся волн искажались и при скорости вибратора больше фазовой скорости поверхностных волн замкнутые волны разрывались и образовывалась вполне определенная трехмерная структура многообразия поверхностных волн.

В последние три-четыре десятилетия резко повысился интерес к изучению поверхностных волн, образующихся и существующих на воде. Толчок этому явлению дало обнаружение нелинейных уединенных локализованных волн постоян-

ной формы, сохраняющих свою идентичность при взаимодействии. Такие локализованные волны получили название "солитоны". Однако "открытие солитона, сделанное с помощью компьютера, по иронии судьбы показало, что современная тенденция хвататься за компьютер для решения любых задач, является преждевременной, если не сказать больше" [1]. Ключ к пониманию нелинейного волнового движения, по мнению автора, содержится в точном и кратковременном процессе преобразования волн из одного вида в другой в критическом режиме движения источника волн, когда скорость источника достигает скорости распространения созданных им перед собой волн. Описание этого процесса приводится ниже.

Опыт производился следующим образом. Из жести был сделан пустотелый конус высотой 19 см, диаметром в основании 20 см, укрепленный на конце жесткого шеста длиной 2,6 м, вершиной в сторону, как показано на рис. 1. Все размеры подобраны так, чтобы с берега естественного водоема можно было вручную на поверхности воды создавать гармонические синусоидальные хорошо видимые невооруженным глазом волны, вертикальным колебательным движением конуса, обращенного вершиной вниз, как на одном месте, так и при его прямолинейном равномерном движении с различными скоростями относительно скорости распространения, создаваемых конусом поверхностных волн C . Назовем такой источник вибратором.

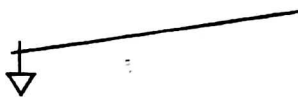


Рис. 1. Вибратор с ручным приводом

Для успешного проведения опыта вибратором указанных размеров глубина водоема по курсу движения вибратора должна быть не менее 1 м и ширина по дну — не менее 2 м.

При колебаниях неподвижного вибратора в воде образуются круглые волны, которые располагаются строго концентрично, по мере удаления от вибратора затухают. С началом горизонтального движения вибратора форма волн искривляется (рис. 2). Векторный график, изображенный на рис. 2, показывает, что силой движения вибратора, условно находящейся на конце стрелки, указывающей направление движения, волновое поле перетягивается из заднего полукруга в передний полукруг по направлению смещения суммарных векторов C , ослабляя и раскрывая его сзади, укорачивая и сжимая — спереди.

При дальнейшем увеличении скорости V вибратора волновое поле сзади теряется из виду, затухает, а концы волн переднего полукруга как будто тонут в воде.

Когда скорость V вибратора достигает скорости C , то перед вибратором за каждый период колебаний образуется прямоугольный вал, по форме представляющий половину периметра квадрата и не имеющий отрицательной амплитуды, называемый солитоном. По мнению автора, стрелка Δ на рис. 2 является дискриминантной линией.

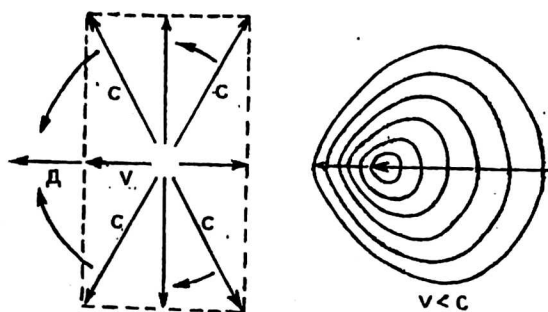


Рис. 2. Искривление формы волн и волнового поля создающегося движением вибратора по направлению стрелки. Слева — векторный график, поясняющий процесс перетягивания волновых параметров силой движения вибратора

При равенстве скоростей $V = C$ векторная картина выглядит так, как показано справа на рис. 3, т. е. из ранее огибающих источник по форме волны преобразуются в прямоугольные: благодаря скорости V за каждый период процесс волна продвигается вперед на одну длину волны, вследствие чего образуется прямоугольный вал. Математическое объяснение путем геометрического сложения векторов здесь менее подходит, чем физическое. Кроме того, утверждение о том, что вибратор взаимодействует с единственной полуволной, а не с целым пакетом сжатых волн, может быть ошибочным на основе дальнейших преобразований.

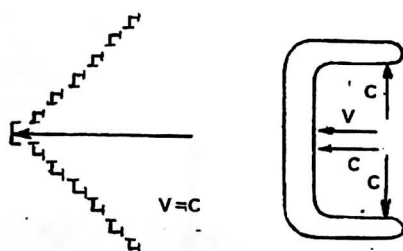


Рис. 3. Форма "волн" и волнового поля, образующегося при равенстве скоростей движения вибратора и созданных им волн. Справа — векторный график, поясняющий образование перед вибратором прямоугольного вала

При скорости движения вибратора $V = C$ и когерентности его колебаний с поверхностными волнами наступает динамический резонанс взаимодействия двух тел — колебаний вибратора с созданными им поверхностными волнами, что является естественным взаимодействием любого движущегося генератора с созданными им волнами, т. е. происходят сложение и сжатие многих волн в волновой пакет на малом участке водной поверхности, а колебательный процесс волн и вибратора, взаимодействующих в столь малом объеме поверхностной воды, будет иметь трехмерный вид.

За каждый период колебания вибратор создает перед собой прямоугольный вал (на рис. 3 слева — в составе волнового поля, а справа — отдельно в комплексе с векторами) и разрывает его посередине на две равные части, образуя из вала два одинаковых углообразных обрывка. Поскольку вибратор для углообразных обрывков является не деформируемым предметом, то он расталкивает эти обрывки вала по сторонам и тем временем создает очередной прямоугольный вал. В период расталкивания обрывков по сторонам и занятия ими своего места в порядках волнового поля, который показан на рис. 3, всплывают на поверхность концы волн, исчезнувших из виду в процессе затухания волн в заднем полукруге. Таким образом, по мнению автора, преобразование формы волн и волнового поля сохраняется до критической скорости ($V = C$), включительно следы от первоначального вида поля, в форме рядов прямых мелких волн за концами углообразных обрывков, как видно на рис. 3 и 4. Два ряда углообразных обрывков составляют новое, неизвестное ранее волновое поле, изображенное на рис. 3.

Углообразные обрывки движутся под углом 45° к линии движения вибратора и не меняют своей формы и высоты над уровнем воды. Это "волновое" поле так же устойчиво, как предыдущее или последующее, его можно создать и поддерживать на поверхности равномерного движения как по ходу, так и поперек и против него. Углообразные валы не имеют отрицательной "амплитуды", так как видимых впадин и углублений около них не проявляется.

Углообразное волновое поле (см. рис. 3) может существовать только при равенстве скоростей $V = C$ и когерентности колебаний. При малейшем отклонении в ту или другую сторону от этих условий форма волн нарушается.

Один обрывок вала, изображенный на рис. 4, примерно чуть меньше натуральной величины, имеет хорошо видимые четыре полосы на буграх обрывка в местах, обозначенных на рисунке пунктирными линиями. По мнению автора, они вызваны струйными течениями воды, выходящими в указанных местах на поверхность каждого углообразного обрывка, пополняющие энергию в удаляющиеся от вибратора обрывки вала [2].

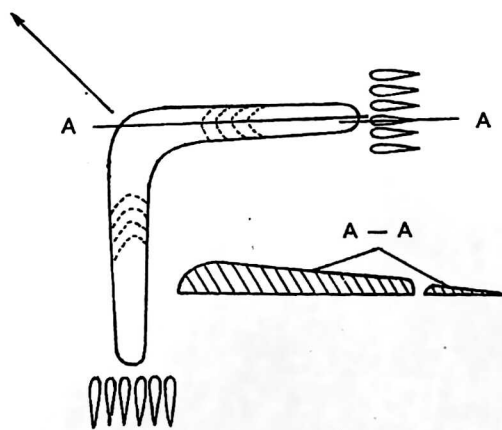


Рис. 4. Углообразный обрывок прямоугольного вала (примерно в натуральную величину)

При дальнейшем увеличении вибратором горизонтальной скорости движения V , т. е. при $V > C$, параллельные плечи прямоугольного вала удлиняются, при разрыве его вибратором обрывки оказываются с разными по размерам плечами, как видно на рис. 5, т. е. параллельные плечи удлиняются, а перпендикулярные разворачиваются, мелкие прямые волны тотчас же исчезают.

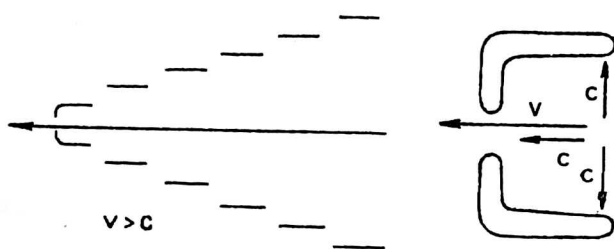


Рис. 5. Форма волн и волнового поля при скорости движения вибратора больше скорости созданных им волн. Справа — векторный график взаимодействия вибратора с прямоугольным валом

При самых тщательных попытках воспроизвести картину волнового поля в обратном порядке автору не удалось, поэтому процесс преобразования волн можно отнести к разряду необратимых.

Таким образом опытным путем обнаружено свойство поверхностных волн преобразовываться в прямоугольные валы и разрываться на два углообразных обрывка с множеством мелких волн на концах, движущихся двумя равными рядами, не меняя формы и высоты. Явление это вызвано проявлением резонанса во взаимодействии двух тел — колебаний вибратора с созданными им волнами на поверхности воды, возникающего при равенстве скоростей движения вибратора и волн и когерентности их колебаний.

Л и т е р а т у р а

1. Зейтурян Р. Х. Нелинейные волны на поверхности воды и солитоны // УФН. 1995. Т. 165. № 12. С. 1445
2. Солитоны в действии/Под ред. К. Лонгрена, Э. Скотта. — М.: Мир, 1981.

EXCITATION OF 3-DIMENSIONAL LOCALIZED STRUCTURES OF DEEP WATER SURFACE WAVES BY MOVING VIBRATOR

V. D. Fedotov

The experimental results of transformation of closed circle deep water surface waves excited by the immovable vibrator into definite structures of the break of surface waves when the vibrator is moving with velocity larger than phase velocity of deep water waves are presented.