

УДК 53.043

ЭФФЕКТ «МЁРТВОЙ ВОДЫ» В МОРСКОЙ ПРАКТИКЕ**Шушков Никита Сергеевич¹**, студентe-mail: biliunas_mv@mail.ru**Андреянов Андрей Алексеевич¹**, студентe-mail: biliunas_mv@mail.ru**Билиюнас Марианна Владимировна¹**, кандидат физико-математических наук, доцент математики, физики и информатикиe-mail: biliunas_mv@mail.ru¹ Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, республика Крым, Россия

Аннотация. В работе рассматривается феномен «мертвой воды» при движении судна, причиной которого являются внутренние волны, возникающие в стратифицированной жидкости, а также в работе приводятся некоторые исторические события, которые могут быть объяснены с точки зрения этого явления.

Ключевые слова: «мёртвая вода», внутренние волны, волновое сопротивление, управляемость судна.

THE "DEAD WATER" EFFECT IN MARINE PRACTICE**Nikita S. Shushkov¹**, Studente-mail: biliunas_mv@mail.ru**Andrej A. Andreyanov¹**, Studente-mail: biliunas_mv@mail.ru**Marianna V. Biliunas¹**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Mathematics, Physics and Computer Sciencee-mail: biliunas_mv@mail.ru¹ Kerch State Marine Technological University, Kerch, Republic of Crimea, Russia

Abstract. The paper examines the phenomenon of “dead water” on the moving ship, the cause of which are internal waves in a stratified liquid. The paper also provides some historical events that can be explained from the point of view of this phenomenon.

Keywords: «dead water», internal waves, wave resistance, ship handleability.

Опытный моряк хорошо знаком с коварностями морских вод: знает карты течений и рельефа дна, к его услугам оперативные сводки метеорологов о погодных условиях,

ветровом волнении и надвигающемся шторме. Тем не менее, опасностями для судна полон не только надводный, но и подводный мир – толща вод, которая хранит еще много тайн и неизведанных свойств. Ученые всего мира стараются пролить свет и объяснить эти необычные явления.

Одно из таких широко известных и давно наблюдаемых явлений – феномен «мёртвой воды» и только сейчас, сравнительно недавно, он получил детальное научное объяснение и подтверждение лабораторными опытами [1].

Самым подробным из ранних описаний феномена «мёртвой воды» считается сделанное норвежским исследователем и ученым Фритьофом Нансеном в 1893 году [2]. Во время экспедиции на корабле «Фрам» в полярных водах случилось следующее: корабль шел полным ходом, направляясь к кромке льда, и вдруг застыл на месте, будто натолкнулся на подводное препятствие. Нансен рассказывал: «Мы почти не двигались с места (...) и будто тащили всю воду за собой. Что мы ни делали, — круто поворачивали, лавировали, описывали полный круг и прочее, - все напрасно. Лишь только машина переставала работать, судно тотчас же останавливалось, точно схваченное чем-то за корму» [2].

Описанное странное поведение корабля привлекло внимание другого исследователя - шведского физика и океанографа Вагн Вальфрида Экмана. В 1904 году он исследует это явление и ставит лабораторный эксперимент в двухслойной жидкости с различной плотностью в слоях. Экман приходит к выводу, что на границе раздела двух слоев генерируются внутренние волны [3]. Именно они и являются причиной сопротивления движению судна.

Явление внутренних волн легко можно представить на примере хорошо известных поверхностных гравитационных волн, которые возникают на границе двух сред: воды и воздуха. Внутренние же волны возникают на границе двух слоев жидкости: менее плотной сверху и более плотной снизу. Схематически это можно описать так: некоторый объем жидкости выводится из положения равновесия и начинает колебаться у границы раздела под действием силы Архимеда и силы тяжести, каждый раз по инерции проскакивая исходное положение равновесия [4]. Так как градиент плотности на разделе сред вода-воздух достаточно высок, на морской поверхности мы достаточно редко можем наблюдать волны амплитудой больше 10 м. А вот на границе раздела разных слоев в воде, где перепад плотности сравнительно небольшой, могут возникать волны с амплитудой десятки и даже сотни метров, при этом морская поверхность может оставаться совершенно гладкой (рис. 1).

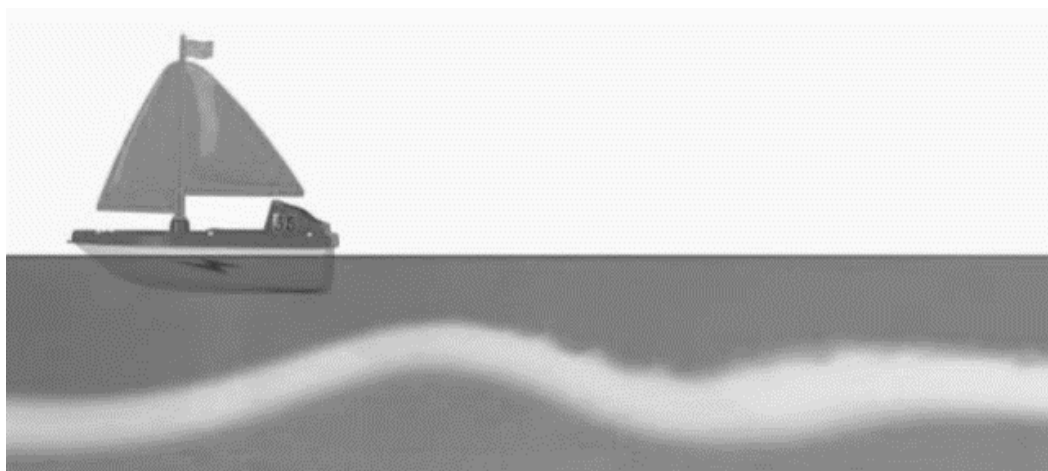


Рисунок 1 – Генерация внутренних волн медленно движущейся моделью лодки [5]

Таким образом, под спокойной водной поверхностью на глубине могут происходить огромные смещения на сотни метров за относительно короткий промежуток времени.

Именно поэтому внутренние волны считаются одной из возможных причин, приводящей к гибели подводных лодок. Так, например, при исследовании причин аварий на подводных лодках (апрель 1963 г. - АПЛ «Трешер», май 1968 г. АПЛ «Скорпион» и апрель 2021 г. ПЛ «Нангала») влияние внутренних волн является одной из версий, объясняющих произошедшие катастрофы [6].

Но не только для подводных лодок несут опасность внутренние волны. С увеличением тоннажа судна и приближением осадки судна к уровню скачка плотности, явление «мертвой воды» все чаще может наблюдаться с крупными судами. Яркой иллюстрацией этого явления послужил характерный случай с судном «Маршал Жуков», который произошел в проливе Дарданеллы в 1981 году [7]. Почти 4 суток это судно преодолеvalo пролив. Под килем была достаточная глубина, тем не менее, наблюдались признаки плавания на мелководье: судно не слушалось руля, теряло скорость и маневренность, разворачивалось поперек пролива. Только переход двигателя на максимальную мощность позволил судну преодолеть сложный участок пути.

Позднее удалось выяснить, что глубина залегания скачка плотности воды находилась примерно на уровне осадки судна – 14-15 м. Если осадка судна примерно совпадает с глубиной раздела слоев с разной плотностью, то при движении оно генерирует гравитационные волны, которые в свою очередь, создают волновое сопротивление, препятствующее продвижению судна. На величину этого сопротивления влияет скорость движения судна, глубина залегания скачка плотности и разность плотности слоев. Известно, что такое волновое сопротивление значительно превышает аналогичное сопротивление в однородной жидкости.

Важная для формирования «мертвой воды» двухслойная структура может наблюдаться в районе таяния ледников, в местах интенсивного выпадения осадков и в устьях впадающих в море рек, когда морская вода покрывается слоем пресной воды. А также подобная двухуровневая структура характерна и для проливов, где наблюдаются двухслойные течения (верхний слой менее плотной воды движется в одну сторону, а нижний с более плотной – в противоположную).

Данные о генерации внутренних волн в проливах подтверждаются и фотографиями из космоса. Основная причина этого в том, что внутренние волны влияют на поверхностные, производя их модуляцию. Например, когда поверхностные и внутренние волны бегут навстречу друг другу, на волны под ложбиной действует попутное течение, а на волны под гребнем – встречное. Попутное течение как бы растягивает поверхностные волны, делая их более длинными и пологими, а встречное течение, наоборот, сжимает их, волны становятся короче и круче [4]. Так на морской поверхности образуются чередующиеся полосы – слики (рис. 2, а). Эти области движутся по поверхности вместе с распространением под поверхностью внутренней волны и хорошо заметны невооруженным глазом и на фотографиях с корабля, самолета или спутника (рис. 2, б).



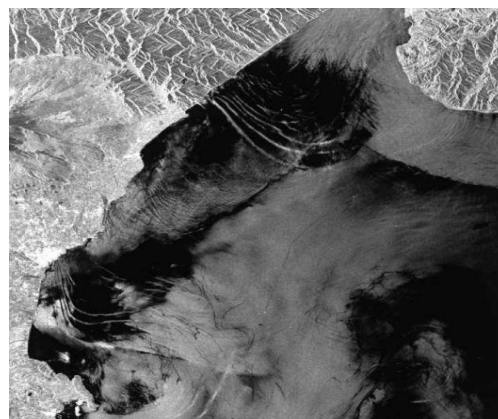
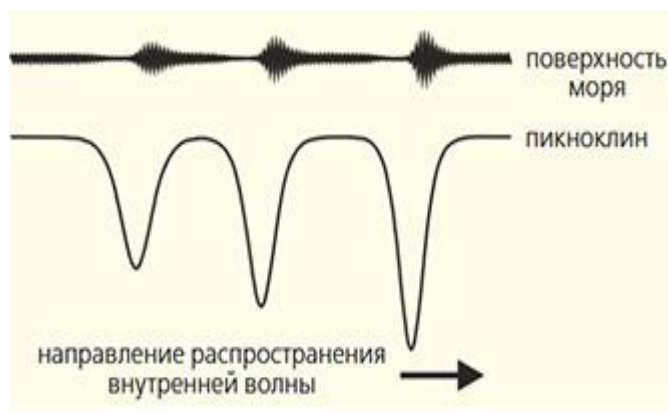


Рисунок 2 – схема модуляции поверхностных волн внутренними (а) и снимок внутренних волн в Мессинском проливе [7] (б)

На рисунке 2. б представлены снимки из космоса внутренних волн в Мессинском проливе, вероломность которого описал еще Гомер в свое «Одиссее». Причиной крушения кораблей в этом проливе Гомер называл чудовищ — Сциллу и Харибду. Но в наши дни мы можем объяснить это явления с точки зрения науки, учитывая особенности рельефа дна, течения и, конечно, влияние внутренних волн.

По версии ученых, феномен "мёртвой воды" так же мог отразиться на исходе битвы при Акциуме в 31 году до нашей эры. В Ионическом море встретились с одной стороны объединенный флот Марка Антония и Клеопатры, а с другой - суда Октавиана. Флот первой стороны был многочисленнее, но с ним произошло примерно то же, что и с «Фрамом»: судна не могли сдвинуться с места несмотря на усилия гребцов, будто держала их неведомая сила. А потому флот Октавиана одержал победу в этом сражении.

Таким образом, исследование внутренних волн имеет не только теоретический интерес, но и практическую важность для подводного и надводного мореплавания. Внутренние волны могут образовываться практически в любых уголках Мирового океана, но особое внимание судоводителям стоит уделить изучению внутренних волн в проливах, где часто формируются условия для их генерации, что, наряду с особенностями подводного рельефа, узкостями и присутствием течений, создает дополнительные сложности для безопасного движения судна.

Список литературы:

1. Fourdrinoy J., Dambrine J., Petcu M., Pierre M., and Rousseaux G.. The dual nature of the dead-water phenomenology: Nansen versus Ekman wave-making drags. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. -2020. – Vol. 117 – №. 29 P. 16770-16775.
2. Нансен Ф. «Фрам» в полярном море. В 2 томах. М.: Географгиз, 1956., 352 с.
3. Ekman V., “On dead water” in Norwegian North Polar Expedition 1893–1896, F. Nansen, Ed. (Longmans, Green and Co.), 1904, pp. 1–150.
4. Ямпольский А. Внутренние волны в океане, или Нет покоя в толще вод // Квант. - 1999. -№3. - С. 3–5.
5. Vasseur R., Mercier M., Dauxois T. Dead Waters: Large amplitude interfacial waves generated by a boat in a stratified fluid. 2008 (arxiv.org/abs/0810.1702).
6. Степанянц Ю. Могут ли внутренние волны погубить подводную лодку? // «Природа» №6, 2021 - С. 54-65.
7. Шлыгин И. А. Популярная гидрометеорология и судовождение. М.: Транспорт. – 1987. – 192 с.

8. Jackson C. An Atlas of internal solitary-like waves and their properties. 2004. -URL: www.internalwaveatlas.com/Atlas2_index.html (обращения 04.04.2025)

