

ГИДРОМЕХАНИКА ШТОРМОВОГО ХОДА КОРАБЛЯ ПРИ ПРОЯВЛЕНИИ ДЕВЯТЫХ ВАЛОВ НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ И КРУПНОЙ ЗЫБИ НА МЕЛКОВОДЬЕ

Дегтярев А.Б.¹, Ганкевич И.Г.¹, Кулабухова Н.В.¹, Храмушин В.Н.^{1,2}

¹ – Санкт-Петербургский государственный университет

² – Научно-инженерное общество судостроителей им. А.Н. Крылова, Санкт-Петербург, Россия, Khrat@mail.ru

Аннотация. Вычислительные эксперименты в гидромеханике океана и корабля востребуются в обосновании эффективного и безопасного маневрирования корабля в штормовом море, что вкуче с морской практикой может послужить основой для наставлений мореплавателям.

Ключевые слова: гидромеханика, вычислительный эксперимент, мореходные качества корабля, штормовое плавание, волны Герстнера, кноидальные волны.

Корабельная гидромеханика, так же как и волновые процессы на поверхности моря не изобилуют разнообразием геометрических форм и сложностями динамических процессов, существенно ограничивающихся законами неразрывности жидкости в условиях сохранения и равномерного распределения энергии штормовых волн среди условно малых объемов водной среды.

Рассматривая возможности повышения эффективности морских коммуникаций представляется весьма актуальным детальный анализ гидромеханики корабля в ураганных ветрах и на предельно интенсивном океанском и прибрежном волнении, что важно как для проработки вариантов уверенного маневрирования корабля в сложных погодных условиях, так и, по необходимости, для обоснованного выбора курса и скорости судна для уклонения от реальных опасностей, неизбежно возникающих на прибрежных или мелководных морских маршрутах.

Таким образом, условия штормового судовождения могут классифицироваться по трём уровням возникающей опасности: 1 – штормовой ход на глубокой воде в условиях проявления девятых валов под ураганными ветрами, и особо – в центре циклона; 2 – ход на континентальном шельфе, и особо – на морских мелководных банках, где глубина моря становится меньше длины штормовой волны; 3 – плавание на материковых отмелях, в особо опасных условиях при проявлении рефракции длиннопериодной зыби в сторону отмелого берега.

Непротиворечивое или целевое проектирование корабля повышенной штормовой мореходности [1], так же как и хорошая морская практика судоводителей всех классов судов, могут служить достижению высокой эффективности мореходства лишь на глубокой воде вдали от побережья. В случае длинноволновых проявлений на мелкой воде, штормовой ход будет востребовать повышенного внимания судоводителя, а выбор курса и скорости в большей степени будет обуславливаться безопасностью: предотвращением слеминга, захватов корпуса или брочинга и других гидродинамических опасностей. Последовательно рассматриваются особенности штормового маневрирования корабля в рамках приведенной классификации гидрографических условий на открытых морских акваториях.

1) Нестационарное трохoidalное волнение на глубокой воде характеризуется динамической особенностью распространения видимых фронтов волн с удвоенной скоростью относительно собственно скорости передачи волновой энергии. Внешне это проявляется регулярным и последовательным отставанием фазы видимых волн, что можно пояснить как бы непрерывным отражением от условно невозмущенной водной поверхности перед волной. Как следствие возникает интерференция с условно отра-

женными волнами, отчего регулярно проявляются девятые валы, которые в записях килевой качки корабля проявляются со строгой регулярностью. Девятые вала проявляются в динамике стоячих волн, что допускает и нередко проявляется крутизной волны более 30° , при этом протяженность фронта увеличивается в случае уменьшения крутизны девятого вала. Внешне поверхность штормового моря формируется ячеистыми структурами фазовых волн с девятью валами в центре, сосуществующими в суперпозиции со свободными волнами от ранее действовавших ветров, и характерной для данной акватории длиннопериодной зыби. Обрушение гребня штормовой волны означает достижение вертикального ускорения величины свободного падения, с заметным снижением давления в потоке в соответствии с законом Бернулли.

Примечательной особенностью штормовой акватории является очень длительное время существования особо высоких и заметных издаюка девятых валов, что позволяет судну не ходить «по кочкам», заблаговременно уклоняясь от встречи с такими девятью валами небольшими изменениями курса. В центре циклона практически все крупные волны динамически стоячие, отчего качка получается как бы «на качелях», без избыточных захлестов гребней штормовых на верхнюю палубу судна. Гребни волн до и после девятого вала быстро движутся, т.е. являются прогрессивными с вдвое меньшей крутизной фронта. Сопровождающие волны обладают весьма большой кинетической энергией, и могут либо подбросить судно, после чего в падении произойдет занырявание под девятый вал, либо в результате «дельфинирования» с девятого вала произойдет сильнейший встречный удар по корпусу и надстройкам корабля.

Современный корабль может двигаться любым курсом относительно штормового волнения на глубокой воде, при этом лагом к волне будет достигаться максимальная скорость хода под огромными размахами бортовой качки; либо предельно малыми ходами носом на волну; либо по волне на среднем или полном ходу для поддержания управляемости над гребнями опережающих судно штормовых волн. Современные корабли и грузовые суда нуждаются в выборе оптимального штормового курса, для них широкая транцевая корма и огромный надводный объем в носовой части корабля способствуют превышению ускорения свободного падения и невесомости в оконечностях корпуса. Примером корабля повышенной штормовой мореходности является крейсер «Аврора».

Относительно мелкая вода характерна для входов в морские порты, для морских рейдов, якорных стоянок, рыболовных банок и относительно узких проливов. Штормовые волны в таких акваториях вытягиваются протяженными гребнями, которые преобразуются из трохоидальных волн в длинные волны с кноидальными гребнями, и пронизывают общим потоком всю толщу воды. Примечательно, что штормовые волны на малых глубинах из групповых структур преобразуются в регулярные прогрессивные волны, и потому крутизна гребней уже не может превышать 30° , однако кинетическая энергия горизонтального перемещения становится предельно максимальной. Интенсивность вихревого движения в гребнях кноидальных волн значительно повышает опасность плавания лагом к волне для судов малого и среднего водоизмещения. При движении носом на волну требуется крепление всех грузов по штормовому, так как превышение ускорения свободного падения в носовой оконечности становится весьма вероятным. В морской практике известны многочисленные примеры гибели судов в результате брочинга, когда на малых ходах попутная волна обращает действие руля на обратное, отчего происходит быстрый разворот под интенсивный вихрь догоняющей волны.

Практически безысходный случай для малых судов при встрече с волнами на береговых отмелях. Крутизна волн при движении с глубокой воды к береговому урезу может достигать бесконечной крутизны с сильно закрученным потоком на вершине

волны. При движении в сторону берега целесообразно поддерживать самый полный ход, что позволит поддерживать управляемость в ожидании быстрого рассеяния энергии идущего к берегу гребня волны, а при явном захвате корпуса попутной волной постараться держать руль прямо до восстановления нормального обтекания корпуса встречным потоком воды.

Заключение: Морская практика и вычислительные эксперименты по моделированию штормового волнения позволяют систематизировать и обосновать эффективные режимы штормового плавания судов в различных гидрометеорологических и гидрографических условиях, что полезно к представлению в наставлениях мореплавателям, в экспертных и автоматических системах управления судном в реальных условиях мореплавания. Работа выполняется по гранту Санкт-Петербургского государственного университета №26520170.

Литература

1. Храмушин В. Н. Поисковые исследования штормовой мореходности корабля. История эволюционного становления корабельного дела, о единении морских инженерных наук и хорошей морской практики. Lambert Academic Publishing. 2018. 470 стр.
2. Дегтярев А. Б., Богданов А. В., Храмушин В. Н. «Волна» – Интерактивный графический программный комплекс для построения и визуального анализа штормовой поверхности моря. Роспатент: №2013619728.

SHIP MOVING FLUIDMECHANICS ON DEEP SEA FREAK WAVES OR SHALLOW WATER CAPE ROLLER EMERGENCES

Degtyarev A.¹, Gankevich I.¹, Kulabukhova N.¹, Khramushin V.^{1,2}

¹ – Saint-Petersburg State University

² – Science-Engineering Shipbuilders Society named Alexey Krylov, Saint-Petersburg, Russia,
Khram@mail.ru

Abstract. Direct computational experiments in the hydro-mechanics of the ocean and the ship are required insubstantiating the effective and safe maneuvering of the ship in the stormy sea, which, together with marine practice, can serve as a basis for mariners guide.

Key words: fluidmechanics, computational experiment, nautical qualities, storm, Gerstner waves, cnoidal waves.