

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СУДОВ ПРИ ПЛАВАНИИ В УСЛОВИЯХ ТРОПИЧЕСКИХ ШТОРМОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

RECOMMENDATIONS FOR VESSELS WHEN NAVIGATION IN A TROPICAL STORMS OF THE NORTHERN ATLANTIC

Рассмотрены основные неблагоприятные гидрометеорологические факторы, воздействующие на судно при плавании в штормовых условиях. Представлены статистические данные о тропических циклонах, образовавшихся в Атлантическом океане за период с 1851 по 2014 гг. Определена тенденция увеличения количества штормовых дней в Атлантике и, как следствие этого, сделан вывод об учащении случаев плавания судов в условиях тропического шторма. Описан резонанс качки как наиболее неблагоприятное, с точки зрения безопасности, влияние штормового волнения на судно. Показаны различные типы резонансных диаграмм как средство предотвращения резонанса качки или выхода из него. Рассчитаны примеры индивидуальных резонансных диаграмм для судов с различными периодами собственных продольных колебаний и сделаны выводы о возможности попадания их в резонанс. Сформулированы основные рекомендации для судов, совершающих переход в зоне потенциального влияния тропического циклона.

Main adverse hydrometeorological factors influenced on vessel crossing of zone of tropical cyclone are examined. Statistic data tropical cyclones generated in Atlantic Ocean during period from 1851 to 2014 are presented. Tendency of increasing of storm days in Atlantic Ocean is determined and as a result of it the conclusion about increasing of sailing in tropical storm is made. Resonance like more adverse influence of storm on vessel from safety point of view is described. Different types of resonance diagrams are described. Examples personal resonance diagrams for different vessels are computed, conclusions about possibility resonance are drew. Main recommendations for vessel crossing zone of potential influence of tropical cyclone are formulated.

Ключевые слова: тропический шторм, резонанс, резонансные диаграммы, опасные гидрометеорологические явления.

Key words: tropical storm, resonance, resonance diagram, hydrometeorological hazard.

СУДА, совершающие трансокеанские переходы, подвергаются непрерывному воздействию неблагоприятных гидрометеорологических факторов. Некоторые из них затрудняют плавание, приводя к увеличению времени перехода [1], другие представляют серьёзную угрозу безопасности как для судна и груза, так и для экипажа. Морская практика показывает, что на судах любого класса и тоннажа может произойти авария или гибель при воздействии на них особо опасных гидрометеорологических явлений, к которым относятся тропические циклоны, так как они сопровождаются сильным ветром, вплоть до ураганного, высокими волнами, а радиус самого тропического циклона может достигать 600 миль.

Для современных судов влияние ветра не столь критично, как было ранее, в эпоху парусного флота. В условиях шторма основное негативное влияние, оказывающее существенное воздействие на безопасность судна, имеет не ветер, а генерируемые им волны. Ветровое волнение является одним из основных гидрометеорологических факторов, определяющих безопасность и экономическую эффективность мореплавания. Набегающая на судно волна вызывает качку, при которой возможен опасный крен, смещение груза, заливание палубы с повреждением люковых закрытий, повреждение рулей, заливание ходового мостика, влияние на работу судового и навигационного оборудования. Наиболее неблагоприятный, а иногда и опасный характер качка приобретает в условиях резонанса, при котором может произойти опрокидывание судна или его перелом. В целях обеспечения безопасности судоходства судоводителям рекомендуется избегать встречи с тропическими циклонами, используя стандартные хорошо известные морякам схемы маневрирования

судна в зоне тропического циклона [2]. Однако данные схемы не всегда могут применяться, и по тем или иным причинам судно вынуждено двигаться в штормовых условиях, соответственно, оно будет подвержено определённому риску, но при соблюдении некоторых правил данные риски можно минимизировать, снизив возможность образования резонанса, и провести штормовое плавание в сравнительно безопасных условиях.

Современные исследования возможности плавания судов в штормовых условиях в подавляющем большинстве сводятся либо к описанию катастроф, случившихся на море и вызванных негативным воздействием штормовых условий [3], либо к экспериментальной и аналитической работе, связанной с разработкой новых принципов для строительства более безопасных судов [4] – [6]. Лишь немногие работы предоставляют судоводителю конкретные практические рекомендации относительно того, как при незначительном отклонении от расчётного курса или при изменении скорости обеспечить приемлемый уровень безопасности при следовании через зону жестоких штормов и ураганов [7], [8].

Тропические циклоны (ТЦ) относятся к наиболее опасным гидрометеорологическим явлениям на море [9], приводящим к аварийным ситуациям и катастрофам. Они представляют собой область низкого атмосферного давления диаметром от 100 до 600 миль и скоростью перемещения от 70 до 240 миль в сутки. Зарождаясь в низких широтах, они движутся в область субтропических и умеренных широт. ТЦ имеют ряд отличий от циклонов умеренных широт. Одной из таких особенностей является наличие в центре циклона зоны почти безоблачной погоды, где скорость ветра, как правило, находится в пределах 0 – 10 уз. Данная зона имеет название *глаз бури*. При удалении от центра циклона на границе *глаза бури* наблюдается резкое увеличение скорости ветра, достигающее максимальное значение на некотором удалении от центра циклона. При удалении от центра к периферии циклона скорость ветра уменьшается. Другой важной чертой *глаза бури* является образование в её зоне крайне неблагоприятного волнения — толчеи, обладающей крутыми склонами и неравномерным периодом. Также в зоне ТЦ наблюдается выпадение большого количества осадков, приводящее к значительному снижению видимости, что, в свою очередь, осложняет навигацию. Наиболее существенной для навигации отличительной чертой ТЦ являются большие градиенты давления, вызывающие ураганные ветры, достигающие 80 – 120 уз, а в отдельных случаях 150 – 200 уз [2]. Генерируемые этими ветрами волны могут достигать высоты более 20 м [10].

Покидая зону влияния ТЦ, эти волны превращаются в зыбь, распространяющуюся на значительные расстояния во всех направлениях. Наиболее существенные, с точки зрения размеров, волны образуются под действием ветра, мало изменяющего направление в течение длительного периода времени, в правом тыловом квадранте, так как движутся в том же направлении, что и ТЦ. В дальнейшем эти волны образуют наиболее значительную зыбь.

На рис. 1 приведена схема распространения волн и зыби в ТЦ Кембриджского исследовательского центра ВВС США, представленная в монографии *G. Riehl. Tropical meteorology: Mc Graw Hill. — New York, 1954. — 392 p.*, где приняты следующие обозначения: тип *A* — наиболее крупная зыбь, находящаяся перед циклоном, а также в правом тыловом квадранте, которая распространяется по направлению движения циклона; тип *B* — волны и зыбь средней длины и высоты, находящиеся во фронтовых квадрантах, которые движутся влево или вправо от вектора движения циклона; тип *C* — волны и зыбь меньшей длины и высоты, чем характерные для типа *B*, находятся в тыловых квадрантах и движутся влево и вправо от вектора движения циклона; тип *D* — зыбь и волны, наименьшей длины и высоты, которые находятся в тыловом квадранте и движутся в направлении, противоположном вектору движения циклона.

В течение длительного периода времени, из-за недостаточной густоты наблюдательной сети, многие ТЦ проходили над океанами незамеченными, за исключением Атлантики, где судоходство существует уже многие годы и имеется большое количество островных метеостанций. Для систематизации ТЦ, образующихся в северной Атлантике, принята шкала ураганов Саффира — Симсона, классификация которой приведена в таблице (с. 33).

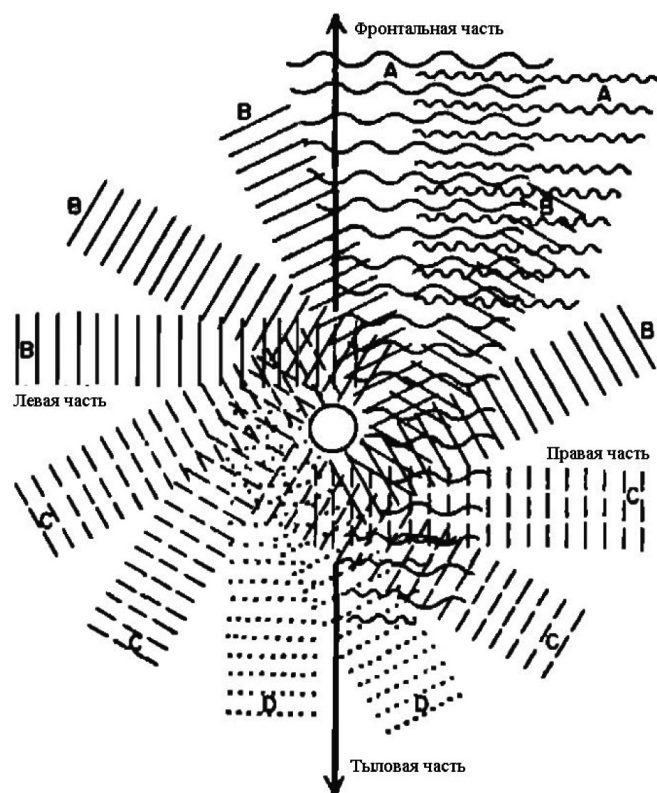


Рис. 1. Схема распространения типов волн и зыби в тропическом циклоне

Классификация ТЦ Северной Атлантики

Тип	Категория	Давление, мбар	Скорость ветра, уз
Депрессия	<i>td</i>	–	< 34
Тропический шторм	<i>TS</i>	–	34 – 63
Ураган	1	> 980	64 – 82
	2	965 – 980	83 – 95
	3	945 – 965	96 – 112
	4	920 – 945	113 – 135
	5	< 920	> 135

Сбор статистических данных ТЦ в Северной Атлантике насчитывает более 160 лет. Эти данные представлены в открытом доступе на интернет-ресурсе <http://weather.unisys.com/>. Проведена их статистическая обработка. В период с 1851 по 2014 гг. образовалось 1518 тропических циклонов, общая продолжительность штормовых дней за это время составила 12742. Определено количество штормовых дней в каждом месяце (рис. 2). На рисунке 2 хорошо видно, что наибольшая вероятность образования ТЦ выпадает на сентябрь, хотя вероятность их появления в августе и сентябре также велика.

Образование двух и более ТЦ в месяц часто связано с наличием групповых возмущений, другими словами, последовательностью ТЦ, возникающих почти в одном и том же месте с интервалом в несколько суток. В период с августа по сентябрь образуется более 80 % всех ТЦ, из них на сентябрь выпадет более 38 %.

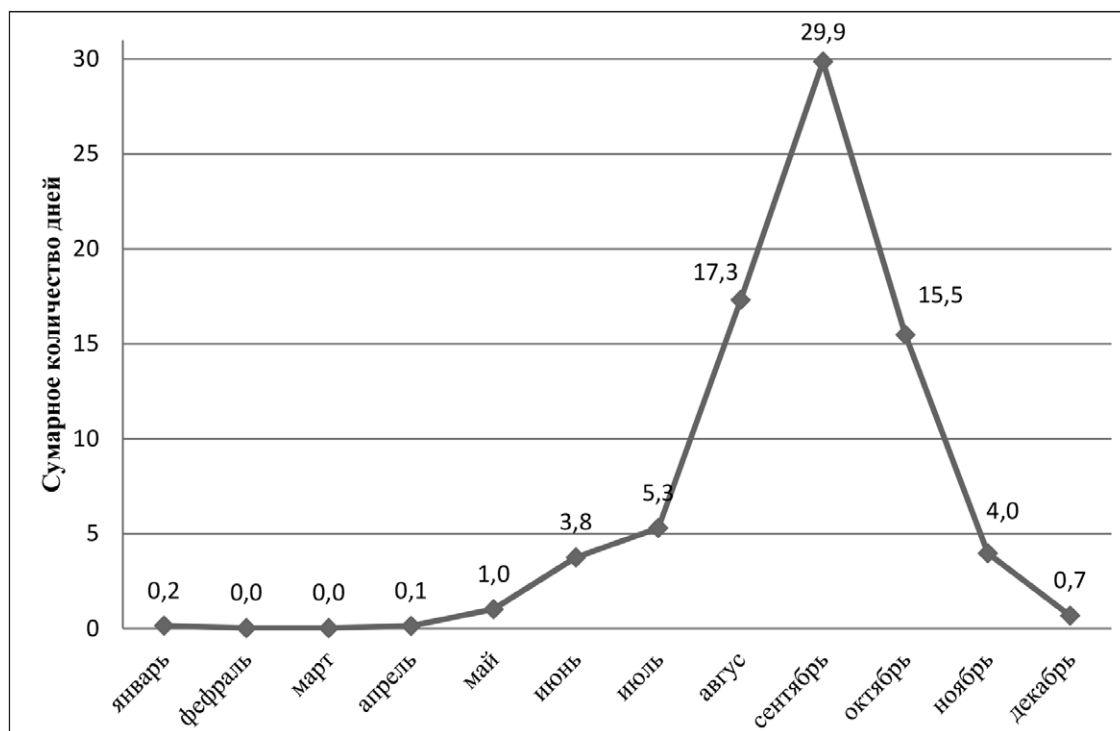


Рис. 2. Количество штормовых дней в северной Атлантике для каждого месяца

На рис. 3 показано количество дней ТЦ за 10-летний период. На графике хорошо видно, что общая тенденция имеет положительные значения, и количество штормовых дней растёт. Экстраполируя полученные данные, можно предположить, что количество ТЦ в Северной Атлантике будет продолжать расти. Следовательно, и количество случаев, когда по тем или иным причинам судоводитель не сможет или не захочет проводить маневр по расхождению с ТЦ, также будет увеличиваться и для обеспечения относительно безопасного и благоприятного прохождения зоны ТЦ ему необходимо наличие точной информации том, как и где движется циклон, а также характеристики волнения в данной зоне [11].

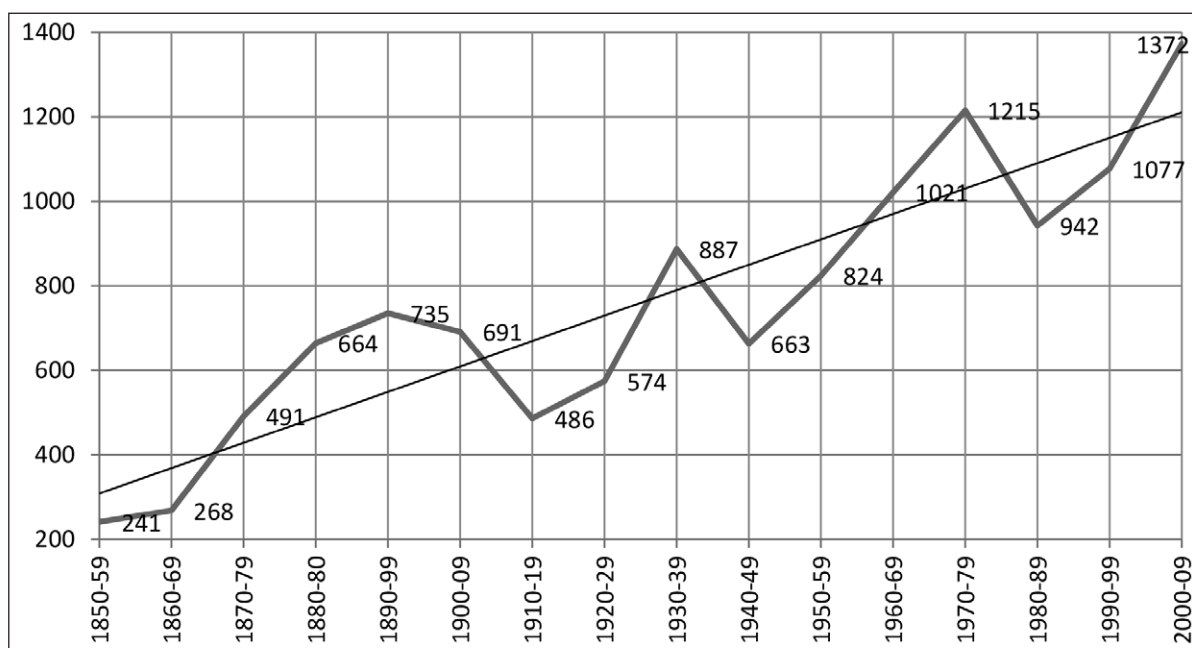


Рис. 3. График изменения количества штормовых дней в десятилетний период

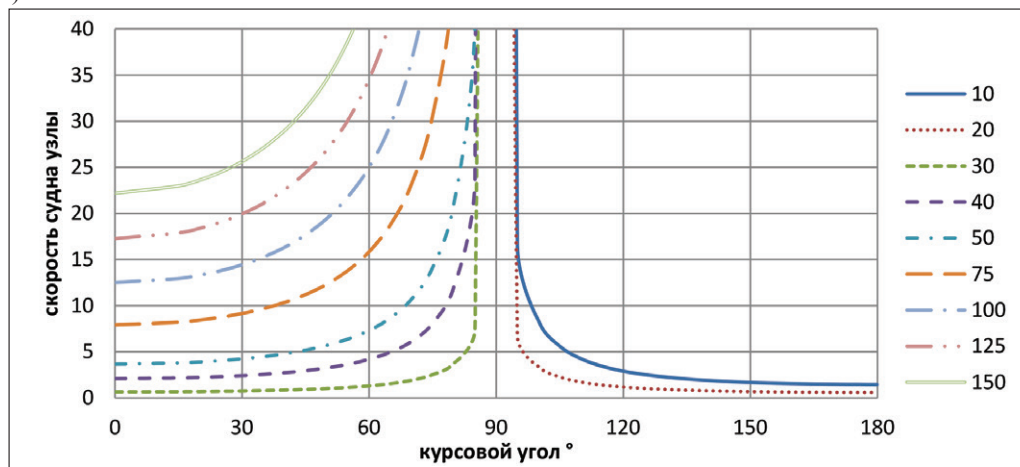
Под резонансом следует понимать совпадение периода собственных колебаний судна с кажущимся периодом волны. Кажущийся период волны определяется с движущегося судна и равен среднему интервалу времени прохода гребней волны через визир пеленгатора. При условии, что кажущийся период волны оказывается равным периоду собственных поперечных колебаний судна, будет наблюдаться резонанс бортовой качки. Резонанс килевой качки будет наблюдаться при совпадении периода собственных продольных колебаний с кажущимся периодом волны. Для предупреждения резонанса судоводителю следует выбрать оптимальные курс и скорость в зависимости от параметров волнения, так как при изменении курса или скорости судна можно добиться значительного отличия кажущегося периода волн и собственных колебаний судна.

Для более точного определения того, какие навигационные параметры и как именно судоводителю следует изменить, чтобы провести штурмование в сравнительно безопасных и благоприятных условиях, в течение длительного времени применялась диаграмма, разработанная Ю. В. Ремизом в Николаевском кораблестроительном институте (ныне Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова). По этой диаграмме можно определить наступление явления резонанса по одному из четырёх параметров: высоте волны, силе волнения в баллах, кажущемуся периоду и длине волны. Однако более удобно и быстро можно решать вопрос об образовании резонанса, рассчитав индивидуальные для каждого судна диаграммы для различных длин волн и неблагоприятного сочетания скорости судна и курсового угла. Расчёт индивидуальных резонансных диаграмм легко проводить по формуле кажущегося периода волны [7]:

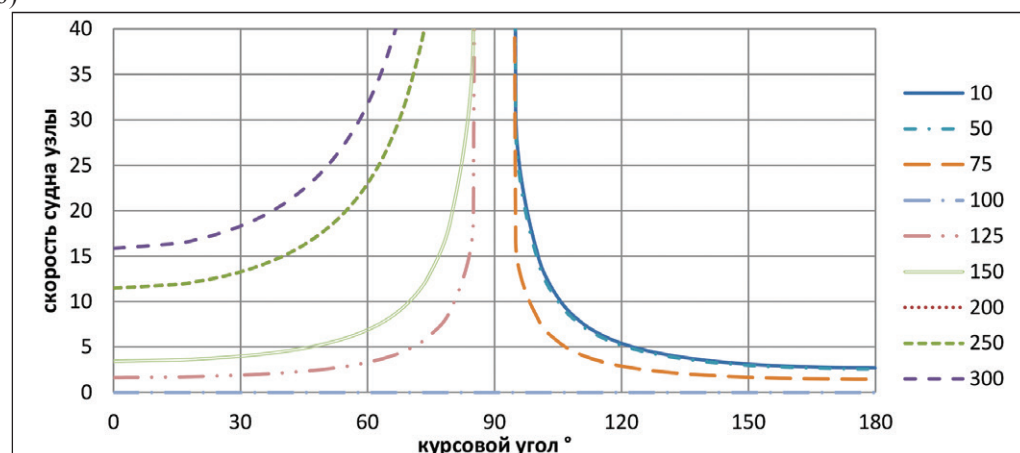
$$V \cos \alpha = \frac{\lambda}{\tau_k} - c = \frac{\lambda}{\tau_k} - 1,25\sqrt{\lambda}, \quad (1)$$

где V — скорость судна; α — курсовой угол; λ — длина волны; c — скорость волны; τ_k — период собственных колебаний. Примеры таких диаграмм приведены на рис. 4.

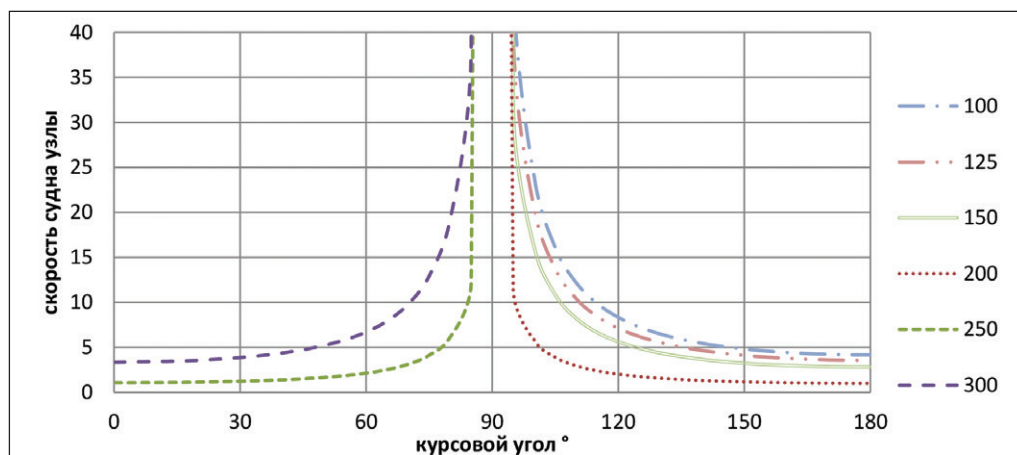
а)



б)



в)



г)

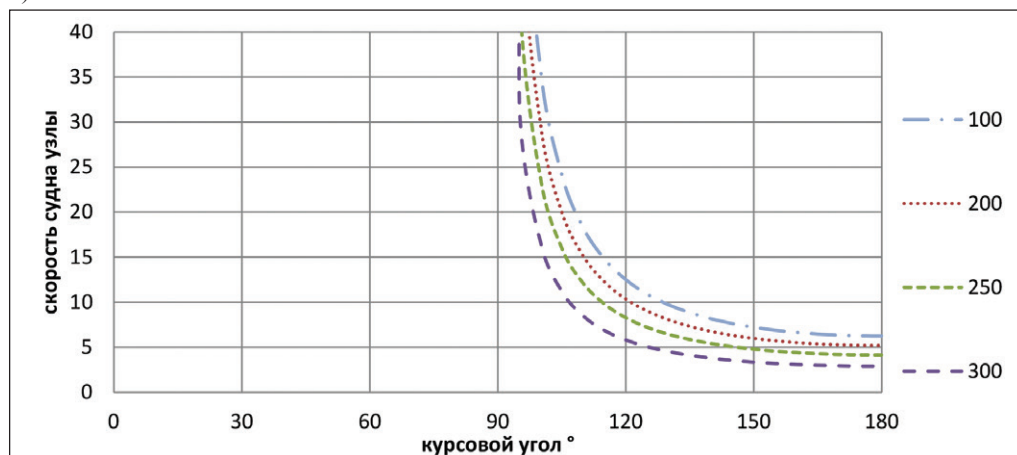


Рис. 4. Резонансная диаграмма для периода собственных колебаний:

а — $\tau_k = 4$ с; б — $\tau_k = 8$ с; в — $\tau_k = 12$ с; г — $\tau_k = 16$ с

На рис. 4 по оси OX расположены значения курсового угла, по оси OY указана скорость судна. Графики построены для длин волн от 50 до 250 м и периодов резонансной качки 4, 8, 12 и 16 с соответственно. Площадь, заключённая между этими графиками, соответствует зоне резонанса. Проанализировав представленные диаграммы рис. 4, легко прийти к следующим выводам:

- чем больше период собственных колебаний судна, тем сложнее ему попасть в резонанс;
- изменение скорости или курсового угла у больших судов приводит к более быстрому их выходу из резонанса, в отличие от судов, обладающих меньшими размерениями;
- суда, обладающие высокой скоростью, также имеют меньше шансов попасть в условие резонанса.

При использовании всех типов резонансных диаграмм необходимо знать период собственных продольных, поперечных и вертикальных колебаний судна. Данные параметры достаточно хорошо изучены и легко находятся по общеизвестным формулам.

Так, период собственных поперечных колебаний судна (бортовая качка) $\tau_{\text{борт}}$ вычисляется по «капитанской формуле»:

$$\tau_{\text{борт}} = \frac{fB}{\sqrt{h_m}}, \quad (2)$$

где B — ширина судна, м; f — коэффициент, принятый для морских транспортных судов, равным 0,75 до 0,9 в зависимости от типа; h_m — начальная поперечная метацентрическая высота, м. При этом величина периода измеряется в секундах.

Помимо опасностей, существующих при резонансе бортовой качки, следует отметить также опасность резонанса при килевой качке. Попутные волны в открытом море движутся со скоростью большей, чем скорость большинства современных судов. Более того, зачастую современные суда имеют длину, схожую с длиной волны, образующейся в ТЦ. В результате при обтекании пера руля попутным потоком гребня волны даже при небольшом угле атаки возникает пара сил, которые стремятся развернуть судно лагом к волне, что приводит к резкому снижению управляемости судна и его устойчивости на курсе. При неблагоприятном стечении обстоятельств, после разворота судна лагом к волне, оно сразу может войти в резонанс бортовой качки и перевернуться. При курсовом угле к волнению, близком к 180° , в случае равенства собственных продольных колебаний судна и кажущегося периода волны, резко возрастают нагрузки, вызывающие общий изгиб судна, что, в свою очередь, может привести к нарушению общей прочности корпуса судна и, как следствие, к его разлому.

Период собственных продольных колебаний судна $\tau_{\text{кил}}$ (килевая качка) рассчитывается по формуле

$$\tau_{\text{кил}} = \frac{B}{\sqrt{T_m}}, \quad (3)$$

где T_m — средняя осадка судна, м.

Выводы

Основываясь на представленных статистических данных об изменении количества ТЦ в Атлантическом океане, выдвинуто предположение об учащении случаев встречи их судами, совершающими трансокеанские переходы. Для обеспечения безопасности мореплавания в условиях частых ТЦ, когда по тем или иным причинам судно не может или не хочет применять стандартные схемы расхождения с ТЦ и вынуждено совершать переход в тяжёлых гидрометеорологических условиях, судоводителю следует руководствоваться следующими рекомендациями. Для относительно безопасного следования через зону ТЦ штурману следует точно представлять основные навигационные характеристики ТЦ, а также иметь достоверный прогноз об их изменениях и направлении перемещения циклона. Это необходимо для предотвращения прохождения судна через зону центра ТЦ, где, как отмечалось ранее, наблюдается наиболее опасное, с точки зрения навигации, волнение. Также следует избегать соотношения «курс-скорость», при котором возможно образование резонанса. Для этого судоводителю, совершающему переход в зоне потенциального влияния ТЦ, следует иметь на борту индивидуальную судовую резонансную диаграмму. Грамотная обработка оперативных гидрометеорологических данных с применением резонансных диаграмм позволит ему найти наивыгоднейший трансокеанский путь перехода, в том числе в условиях ТЦ.

Список литературы

1. Крюков Н. Д. Учёт течений, генерируемых ветром, при плавании судов / Н. Д. Крюков, В. А. Шматов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 23–29.
2. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в океанах и морях / под ред. Е. С. Нестерова. — М.: Росгидромет, 2013. — 295 с.
3. Бондарь В. М. Об одной версии гибели судна, загруженного упруго смещающимся грузом: сб. науч. тр. / В. М. Бондарь, В. Г. Сизов. — Киев: Нац. ун-т кораблестроения, 2007. — № 6. — С. 10–16.
4. Храмушин В. Н. Концептуальные проекты рыболовных, спасательных и патрульных судов для Сахалина и Курильских островов / В. Н. Храмушин // Мореходство и морские науки – 2011: избр. докл.

Третьей Сахалинской региональной морской науч.-техн. конф.; под общ. ред. В. Н. Храмушина. — Южно-Сахалинск: Сахалинский гос. ун-т, 2011. — С. 64–81.

5. Суров О. Э. Методика проектирования формы корпуса судна с учётом продольной качки и волновых изгибающих моментов / О. Э. Суров, П. П. Карпов // Морские интеллектуальные технологии. — 2013. — № 2. — С. 49–55.

6. Храмушин В. Н. Согласование элементов формы корпуса и общекорабельной архитектуры для достижения эффективности и безопасности штормового плавания / В. Н. Храмушин // Морские интеллектуальные технологии. — 2010. — Спецвыпуск. — С. 55–61.

7. Умрихин В. П. Программное обеспечение для решения задачи выхода судна из зоны резонансной качки / В. П. Умрихин, С. В. Петровский // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2010. — № 1. — С. 107–109.

8. Антоненко С. В. Динамика корабля в штормовом море и нормы остойчивости / С. В. Антоненко, Н. И. Восковщук // Мореходство и морские науки. — 2011: избр. докл. Третьей Сахалинской региональной морской науч.-техн. конф.; под общей ред. В. Н. Храмушина. — Южно-Сахалинск: Сахалинский гос. ун-т, 2011. — С. 24–33.

9. Бармин А. Н. Классификация опасных природных явлений / А. Н. Бармин, Е. А. Колчин, Н. С. Шуваев // IX Межрегиональная науч.-практ. конф. студ. и асп., 10 апр. 2009 г.: в 3 т. / НФИ ГОУ ВПО «Кемеровский гос. ун-т»; под общ. ред. Ф. И. Иванова, С. А. Шипилова, Л. А. Проскуряковой, М. Р. Геты. — Новокузнецк, 2009. — Т. 1. — С. 70–72.

10. Stewart R. Introduction to Physical Oceanography / R. Stewart. — Texas: Department of Oceanography Texas A&M University. — 2008. — P. 353.

11. Мاستрюков С. И. Гидрометеорологическое обеспечение безопасности общего мореплавания / С. И. Мастрюков // Навигация и гидрография. — 2009. — № 28. — С. 124–134.

УДК 655.62.052.4

А. А. Ершов,
д-р техн. наук, доц.;

Д. А. Хухарев,
инж.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОГО ЗАХОДА СУДНА В ПОРТ

CONDITIONS FOR SAFE ENTRY OF SHIPS IN PORT

В статье рассматривается расчетный способ определения безопасных условий с использованием определения безопасной ширины канала для прохода конкретного судна. Он включает в себя расчет гидродинамических и аэродинамических характеристик судна с учетом его конкретных особенностей, а также проверку его возможности двигаться по каналу определённой ширины в условиях конкретного ветра. Использование предлагаемого метода позволяет учесть влияние судов и других объектов, находящихся возле причала, а также влияние глубины и стенок канала на движение судна. В случае использования данного метода может учитываться возможность столкновения проходящего судна с другими объектами на канале во время движения. Предлагаемый метод может использоваться администрациями портов для оценки безопасности захода конкретного судна в порт, в частности при автоматизации решения подобных задач.

In the article considers the method of determining a current safe condition using the definition of safety channel width for the passage of a specific vessel. It includes the calculation of hydrodynamic and aerodynamic characteristics of the vessel, taking into account its specific characteristics, test its ability to move in a certain channel width in a particular wind. Using the proposed method allows to take into account the impact of vessels and other objects that are near the pier, and the influence of the depth and the channel walls on the movement of the ship. With this method may take into account the possibility of vessel collisions with other objects on the channel