

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-40-54

JUSTIFICATION AND CALCULATION OF “STORM ZIGZAGS” WHEN TANKERS SAILING

A. A. Ershov, P. I. Buklis, S. Yu. Razvozov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The ways to ensure the safety and effectiveness of stormy navigation of tankers in the form of “storm zigzags” are discussed in the paper. The proposed method of tanker navigation in a storm using “storm zigzags” can serve as one of the elements of restoring the sea transportation efficiency in overcoming the consequences of the COVID-19 epidemic for maritime transport. Examples of calculation and justification of parameters of “storm zigzags 60–120 and 60–130” of tankers for lateral course angles of wind and waves are given on the basis of earlier publications of the authors of this study. It is shown that the use of “storm zigzags” avoids the danger of blind sailing in the form of resonance for various types of pitching, slamming, loss of stability in passing waves, including for emergency tankers. It is noted that at the same time, the speed of the vessel’s movement in the chosen direction of movement in storm conditions is maintained. The use of “storm zigzags” can be one of the most important conditions for maintaining the rhythm of sea tanker transportation also for other types of vessels in stormy conditions, as well as ensuring the efficiency and safety of sea transportation. A universal diagram of safe and effective maneuvering of tankers in a storm, which allows you to choose a safe and effective “storm zigzag” to maintain the speed of the vessel depending on the heading angle of wind and waves, is proposed. The ways of using and correcting the universal diagram of safe and effective maneuvering of tankers in a storm by performing “storm zigzags” are proposed. The methods of storm sailing using “storm zigzags” proposed in the paper, as well as in earlier publications of the authors of this study, make it possible to ensure the efficiency and safety of tankers maneuvering in storm conditions. The use of “storm zigzags” makes it possible to choose ocean routes and maneuvers that allow solving a complex task — at the same time to ensure the optimality of the transit path, safety conditions and maintain the speed of tankers movement in the chosen direction. The conclusions obtained in the paper coincide with the available data for determining the methods of storm navigation that ensure safety and speed storage during the vessels passage along a given path. The results of this work can be used to develop methods for ensuring safety, maintaining speed and running time when sailing in a storm, taking into account the characteristics of tankers and other types of vessels.

Keywords: “storm zigzag”, justification and calculation, universal diagram, effective safe management, ship management in a storm.

For citation:

Ershov, Andrey A., Peter I. Buklis, and Sergey Yu. Razvozov. “Justification and calculation of “storm zigzags” when tankers sailing.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.1 (2022): 40–54. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-40-54.

УДК 655.62.052.4

ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ «ШТОРМОВЫХ ЗИГЗАГОВ» ПРИ ПЛАВАНИИ ТАНКЕРОВ

А. А. Ершов, П. И. Буклис, С. Ю. Развозов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрены способы обеспечения безопасности и эффективности штормового плавания танкеров в виде «штормовых зигзагов». Предложенный способ плавания танкеров в шторм с использованием «штормовых зигзагов» может служить одним из элементов восстановления эффективности морских перевозок в условиях преодоления последствий эпидемии COVID-19 для морского транспорта. Приведены примеры расчета и обоснование параметров «штормовых зигзагов 60–120 и 60–130» танкеров для боковых курсовых углов ветра и волнения на основании более ранних публикаций авторов настоящего исследования. Показано,

что использование «штормовых зигзагов» позволяет избежать опасности штормового плавания в виде резонанса по различным видам качки, слеминга и слеппинга, потери остойчивости на попутном волнении, в том числе для аварийных танкеров. Отмечается, что при этом сохраняется скорость движения судна по выбранному направлению движения в условиях шторма. Использование «штормовых зигзагов» может явиться одним из важнейших условий сохранения ритмичности морских танкерных перевозок и для других типов судов в штормовых условиях, а также обеспечения эффективности и безопасности морских перевозок. Предложена универсальная диаграмма безопасного и эффективного маневрирования танкеров в условиях шторма, которая позволяет выбрать безопасный и эффективный «штормовой зигзаг» для сохранения скорости движения судна в зависимости от курсового угла ветра и волнения. Предложены способы использования и корректировки универсальной диаграммы безопасного и эффективного маневрирования танкеров в условиях шторма путем выполнения «штормовых зигзагов». Предложенные в настоящей статье, а также в более ранних публикациях авторов настоящего исследования способы штормования с использованием «штормовых зигзагов» позволяют обеспечить эффективность и безопасность маневрирования танкеров в условиях шторма. Использование «штормовых зигзагов» дает возможность выбора океанских путей и маневров, позволяющих решать комплексную задачу — одновременно обеспечивать оптимальность пути перехода, условия безопасности и сохранять скорость движения танкеров по выбранному направлению движения. Полученные в настоящей статье выводы совпадают с имеющимися данными определения способов штормового плавания, обеспечивающих безопасность и сохранение скорости при переходе судов по заданному пути. Результаты настоящей работы могут быть использованы для развития методов обеспечения безопасности, сохранения скорости и ходового времени при плавании в шторм с учетом особенностей танкеров и судов других типов.

Ключевые слова: «штормовой зигзаг», обоснование и расчет, универсальная диаграмма, эффективное безопасное управление, управление судном в шторм.

Для цитирования:

Ершов А. А. Обоснование и расчет «штормовых зигзагов» при плавании танкеров / А. А. Ершов, П. И. Буклис, С. Ю. Развозов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 40–54. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-40-54.

Введение (Introduction)

Современное судоходство должно быть безопасным и эффективным для морской перевозки грузов. Оно не должно приводить к катастрофическим потерям судов и грузов в результате морских аварий, а также допускать потери скорости и времени перехода, оказывать влияние на графики занятости и аренды причалов, складских помещений, задерживать смежные участники транспортного процесса и т. п. Особую актуальность безопасность и эффективность перевозок грузов морем получила в настоящее время, когда мировое судоходство преодолевает последствия ограничений, связанных с распространением в мире COVID-19.

В перевозке грузов морем важнейшую роль имеют обе составляющие — *безопасность и эффективность* морских перевозок, которые должны обеспечиваться при любых условиях, в том числе в условиях перехода судна в штормовую погоду. Большое значение это имеет для танкеров, к которым, в силу особенности эксплуатации, предъявляются особые требования по обеспечению безопасности и эффективности перевозок морем.

В работе [1] рассматривались способы автоматизации плавания судов с учетом основных опасностей, вызванных штормом. В работах [2]–[5] рассматривались задачи обеспечения эффективности маневрирования танкера в условиях шторма и снижения, дополнительных составляющих сопротивления и поддержания скорости судна путем выполнения «штормовых зигзагов». В указанных ранее работах определялись курсовые углы ветра и волнения (КУВ), которые приводили к максимальной и минимальной потерям скорости при движении танкера в штормовых условиях, и предлагалось выполнять маневрирование танкера таким образом, чтобы потери скорости и времени перехода были минимальными. В результате для обеспечения движения без потерь ходового времени танкер должен был маневрировать «штормовым зигзагом», переходя с одних КУВ, при которых обеспечивались минимальные потери скорости на другие КУВ с таким же результатом (эффективные значения КУВ).

Одновременно в работе [5] предлагалось избегать тех КУВ, при которых потери скорости были максимальными. В работе [6] было показано, что применение движения «зигзагом» с эффективными значениями КУВ не приводит к существенным потерям ходового времени и может быть

использовано для обеспечения безопасности движения танкера в условиях шторма. Было обосновано применение «штормового зигзага 12–60» как безопасного и эффективного способа маневрирования танкера в грузу при движении в условиях встречного шторма с КУВ = 40°.

В работе [7] предложено использовать «штормовой зигзаг 12–60» при планировании переходов совместно с принятыми в морской практике плаванием по локсодромии и ортодромии при оптимизации океанского плавания судов. В работах [8]–[12] рассмотрены основные положения оптимизации времени и скорости переходов судов, а также принципы эффективной работы портовых комплексов и морских терминалов в зависимости от ритмичности поставок и безаварийной работы морского транспорта.

В настоящей работе продолжено исследование, целью которого является обоснование движения танкеров безопасными и эффективными «штормовыми зигзагами» для любых диапазонов курсовых углов при выполнении морских перевозок с учетом основных опасностей штормового плавания [13], [14].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Причины, приводящие к необходимости выполнения «штормового зигзага» при боковом волнении [13], [14], могут быть сведены к следующему: боковое волнение и волнение моря, к которому можно отнести волнение, действующее на танкер с КУВ = 60–130°. Причины, приводящие к необходимости изменения курса судна и, следовательно, КУВ, в штормовых условиях при бортовом волнении, в соответствии с положениями [13], определяются следующими видами опасностей (рис. 1–3).

1. Опасность попадания в зону усиленной бортовой качки (КУВ = 78–102°).

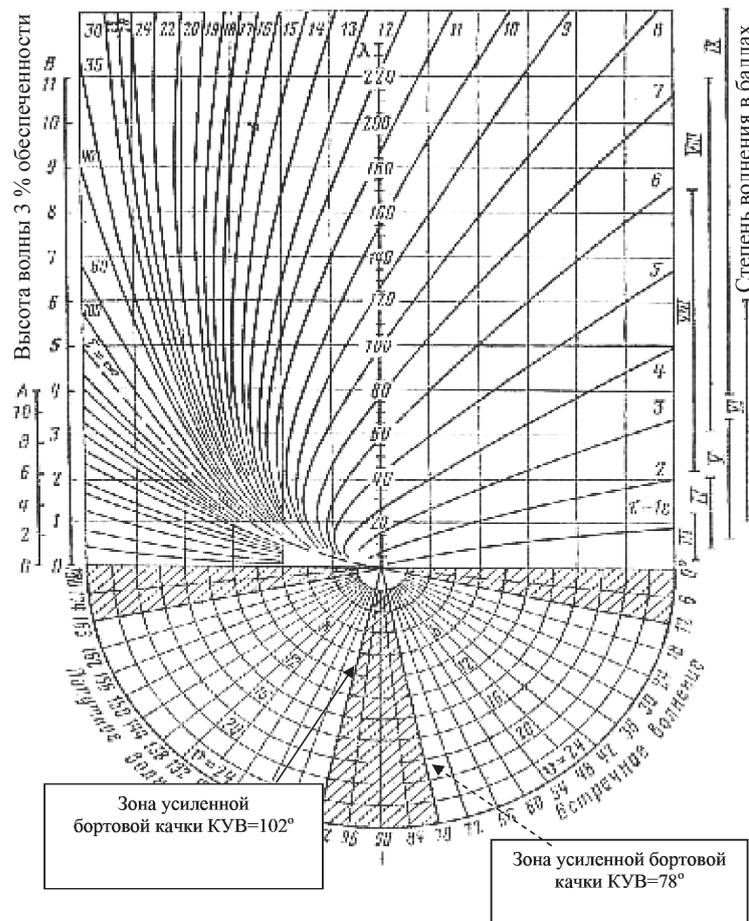


Рис. 1. Зона усиленной бортовой качки на диаграмме Ю. В. Ремеза (КУВ = 78–102°)

Зона усиленной бортовой качки, обозначенная штриховкой на диаграмме Ю. В. Ремеза, находится в зоне КУВ = 78–102° для всех типов судов и всех скоростей движения судна (см. рис. 1).

2. Опасность попадания в зону резонанса по бортовой качке (КУВ = 95–130° (рис. 2)).

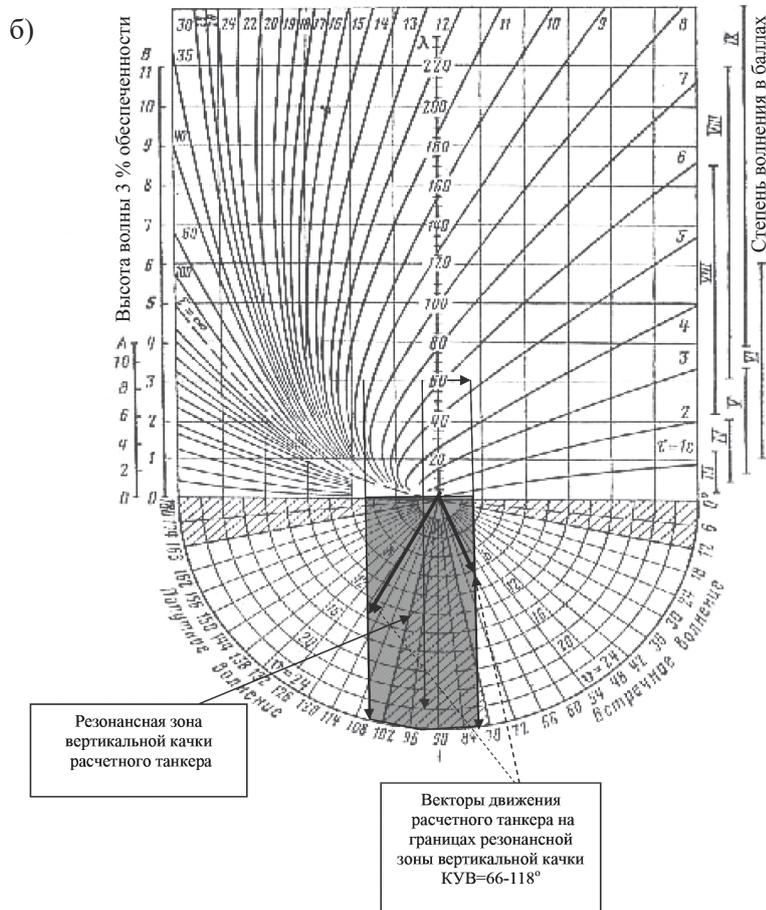
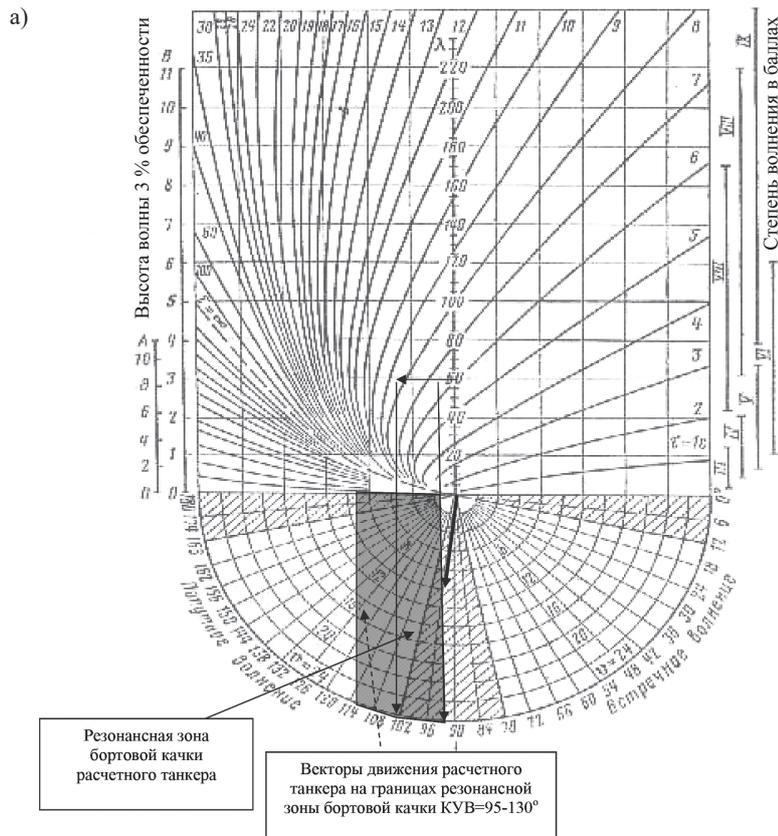


Рис. 2. Резонансная зона вертикальной качки расчетного танкера на диаграмме Ю. В. Ремеза: а — КУВ = 95–130°; б — КУВ = 66–118°

На рис. 2, а приведена резонансная зона бортовой качки расчетного танкера, характеристики которой представлены в [3], [5], [6]. Границы резонансной зоны бортовой качки с учетом векторов скорости расчетного танкера находятся на КУВ = 95–130°.

3. Опасность попадания в зону резонанса по вертикальной качке (КУВ = 66–118° (рис. 2, б)). На рис. 2, б показана резонансная зона вертикальной качки расчетного танкера, границы которой с учетом векторов скорости расчетного танкера находятся на КУВ = 66–118°. Как видно из результатов расчета, представленных на рисунке, в определенных диапазонах КУВ может возникать сочетание опасностей, связанное с одновременным попаданием в зону усиленной бортовой качки (КУВ = 78–102°) резонанса по различным видам качки (КУВ = 95–130° на рис. 1 и 2). Это сочетание многократно увеличивает опасность для судна, поэтому таких КУВ судам необходимо избегать в первую очередь.

Как показали результаты систематических расчетов и результаты, представленные на рис. 1–3, можно избежать основных опасностей бортового волнения и сочетания опасных КУВ в случае, если танкер при движении будет находиться на КУВ = 60–70° и КУВ = 120–130°. Таким образом, становится целесообразным выполнение «штормового зигзага 60–120° или 70–130°» для обеспечения безопасного движения танкера в условиях бокового волнения. Дополнительным преимуществом выполнения «штормовых зигзагов 60–120° или 70–130°» является значительное увеличение скорости движения танкера при переходе от КУВ = 60–70° до КУВ = 120–130° (рис. 3) [5]. Так, изменение скорости танкера при переходе от КУВ = 60° к КУВ = 130° дает возможность обоснованно предположить, что переход от КУВ = 60–70° к КУВ = 120–130° при выполнении «штормового зигзага» позволяет не снижать, а, возможно, даже увеличивать скорость перехода танкера по первоначальному направлению движения (первоначальному значению ИК или ПУ).

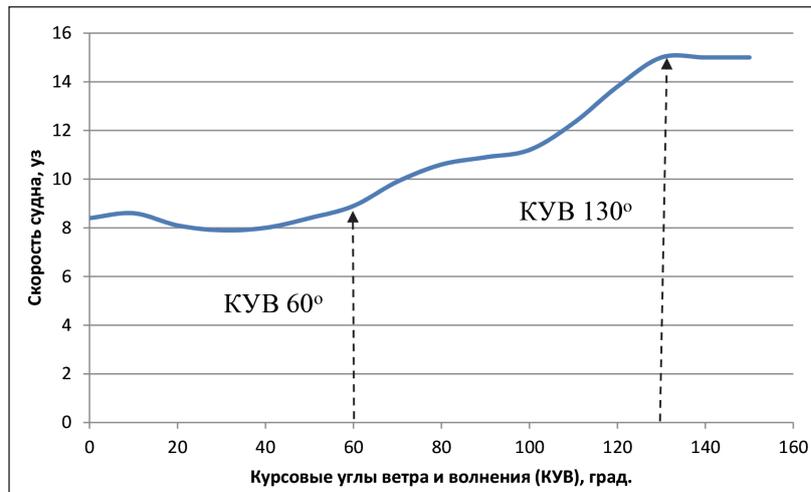


Рис. 3. Изменение скорости движения расчетного танкера при изменении курса (выполнении зигзага) с КУВ = 60° ($V_T = 9$ уз) на КУВ = 130° ($V_T = 15$ уз)

Основная задача способа эффективного и безопасного маневрирования танкера в условиях шторма (выполнения эффективного и безопасного «штормового зигзага») заключается в том, чтобы обеспечить безопасные условия штормового плавания с минимальным отходом от первоначального пути и наименьшим снижением скорости при движении по первоначальному пути (заданному истинному курсу и / или путевому углу).

Эффективный «штормовой зигзаг 60–120» танкера в шторм может определяться исходя из следующих условий:

1. На диаграмме Ю. В. Ремеза (см. рис. 1 и 2) показано, что нахождение расчетного танкера на КУВ = 60–120° позволяет избежать зон резонанса по бортовой и вертикальной качке, а также нахождения в зоне усиленной бортовой качки.

2. Переход танкера с $KУВ = 60^\circ$ на $KУВ = 120^\circ$ позволяет увеличить скорость движения танкера с 9 уз до 14 уз (см. рис. 3), что дает возможность избежать потерь скорости при движении по основному ИК или ПУ.

Таким образом, при выполнении «штормового зигзага 60–120» движение танкера будет эффективным (без потерь скорости) и безопасным (без попадания в опасные зоны резонанса и усиленной бортовой качки (см. рис. 1 и 2). Для детального рассмотрения применения «штормового зигзага 60–120» необходимо предположить, что судно изначально следует ИК = ПУ = 0° и на $KУВ = 90^\circ$ оно испытывает усиленную бортовую качку (см. рис. 1). Схематично это движение судна можно представить в виде рис. 4 аналогично [5].

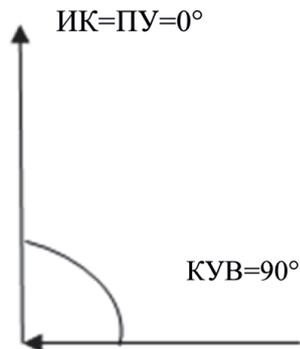


Рис. 4. Первоначальное расположение судна ИК = ПУ = 0° и курсового угла ветра и волнения КУВ = 90°

Для улучшения состояния качки танкера изменяет свой курс так, чтобы его КУВ был равен 60° . Схематично это движение судна представлено на рис. 5, а.

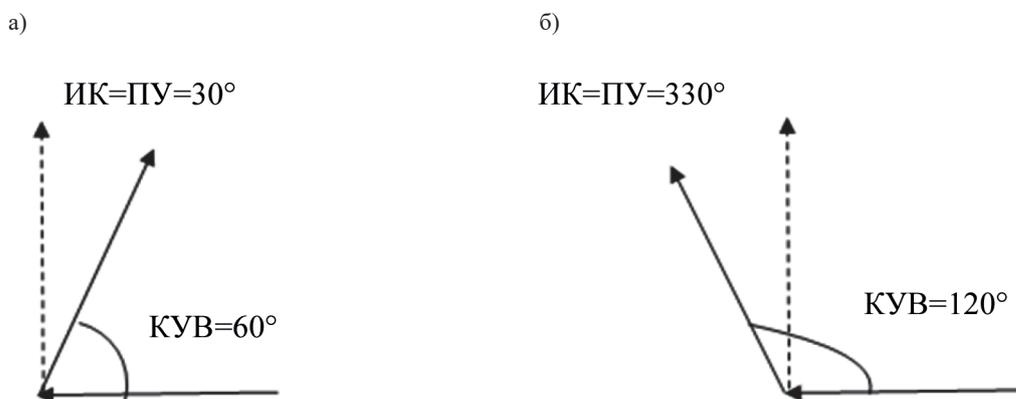


Рис. 5. Изменение курса судна: а — вправо на ИК = $0^\circ + 30^\circ = 30^\circ$ для получения курсового угла ветра и волнения (КУВ = 60°); б — влево на КУВ = 120° или ИК = 330° для получения курсового угла ветра и волнения КУВ = 120° , а также возврата к первоначальной линии пути (ИК = ПУ = 0°)

Для того чтобы не уйти далеко от первоначального пути (первоначальный ИК = ПУ = 0°), танкер должен через некоторое время перейти на КУВ = 120° (ИК = ПУ = 330°) с тем, чтобы вернуться на первоначальную линию пути: ПУ = 0° (рис. 5, б). После возврата к первоначальной линии пути ИК = ПУ = 0° «штормовой зигзаг 60–120» может быть выполнен повторно.

В соответствии с методикой, представленной в [5] для «штормового зигзага 12–60», с целью сравнения эффективного и безопасного «штормового зигзага 60–120» и плавания танкера на КУВ = 90° (без изменения курса в зоне усиленной бортовой качки) будем использовать сравнительную схему расчета, приведенную в табл. 1.

**Сравнительная схема расчета параметров эффективного
и безопасного «штормового зигзага 60–120»**

Название маневра и его параметры	Значение
Маневр 60 «Поворот направо, КУВ = 60 град.»:	
КУВ, град.	90,0
Направление ИК (ПУ), град.	0,0
Изменение КУВ, град.	30,0
Изменение ИК, град.	30,0
Скорость, уз	9,0
Время, ч	0,9
Расстояние, мили	8,1
Движение по курсу (ПУ = 0), мили	7,0
Снос поперек курса (ПУ = 0), мили	4,1
Маневр 120 «Поворот налево, КУВ = 120 град.»:	
КУВ, град.	120,0
Изменение курса, град.	-60,0
Внутренний угол для расчета	-30,0
Скорость, уз	14,0
Время, ч	1,1
Расстояние, мили	15,4
Движение по курсу (ПУ= 0), мили	13,3
Снос поперек курса (ПУ= 0), мили	-7,7
Суммарное движение по курсу с эффективным «штормовым зигзагом» (без опасностей шторма), мили	20,4
Скорость с КУВ = 90, уз	10,6
Без маневра с КУВ = 90 град (с опасностями штормового плавания), мили	21,2

Как следует из результатов табл. 1, предложенный способ осуществления эффективного «штормового зигзага 60–120» позволяет не только избежать основных опасностей штормового плавания за счет безопасного маневрирования, но и совершать переход по заданному направлению (ПУ = 0°) без значительной потери пройденного расстояния.

Эффективный «штормовой зигзаг 60–130» танкера может определяться исходя из следующих факторов:

1. На диаграмме Ю. В. Ремеза показано (см. рис. 1 и 2), что нахождение расчетного танкера на КУВ = 60–130° позволяет избежать зон резонанса по бортовой и вертикальной качке, а также нахождения в зоне усиленной бортовой качки.

2. Переход танкера с КУВ = 60° на КУВ = 130° позволяет увеличить скорость движения танкера с 9 уз до 15 уз (см. рис. 3), что дает возможность избежать потерь скорости при движении по основному ИК или ПУ в процессе выполнения «штормового зигзага 60–130».

Таким образом, при выполнении «штормового зигзага 60–130» движение танкера будет эффективным (без значительных потерь скорости) и безопасным (без попадания в опасные зоны резонанса и усиленной бортовой качки). Для детального рассмотрения применения «штормового зигзага 60–130» необходимо предположить, что судно изначально следует ИК = ПУ = 0° и на КУВ = 90° испытывает усиленную бортовую качку (см. рис. 1). Схематично это движение судна можно представить в виде рис. 6.

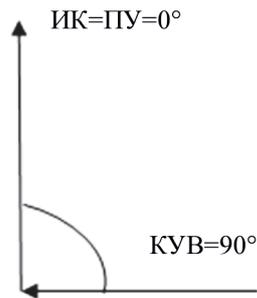


Рис. 6. Первоначальное расположение судна ИК = ПУ = 0° и курсового угла ветра и волнения КУВ = 90°

Для улучшения состояния качки танкера изменяет свой курс так, чтобы его КУВ был равен 60°. Схематично это движение судна можно представить в виде рис. 7, а.

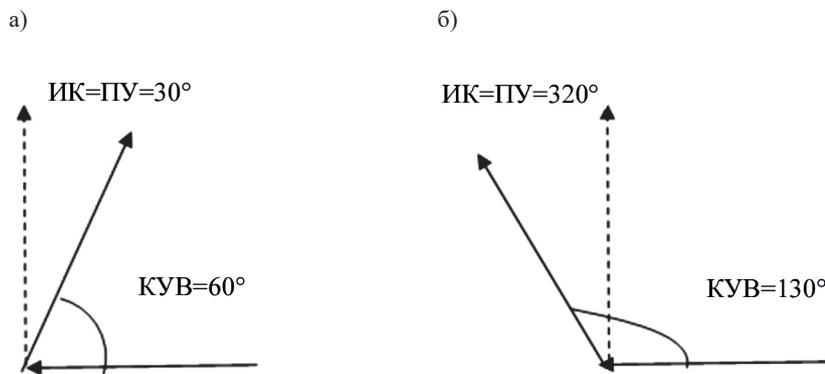


Рис. 7. Изменение курса судна: а — вправо на ИК = 0° + 30° = 30° для получения курсового угла ветра и волнения КУВ = 60°; б — влево на ПУ или ИК = 320° для получения курсового угла ветра и волнения КУВ = 130°, а также возврата к первоначальной линии пути (ИК = ПУ = 0°)

Для того чтобы не уйти далеко от первоначального пути (первоначальный ИК = ПУ = 0°), танкер должен через некоторое время перейти на КУВ = 130° (ИК = ПУ = 320°) с тем, чтобы вернуться на первоначальную линию пути ПУ = 0° (рис. 7, б). После возврата к первоначальной линии пути ИК = ПУ = 0° «штормовой зигзаг 60–130» может быть выполнен повторно.

С целью сравнения эффективного и безопасного «штормового зигзага 60–130» и плавания танкера на КУВ = 90° (без изменения курса в зоне усиленной бортовой качки) используем сравнительную схему расчета, приведенную в табл. 2.

Таблица 2

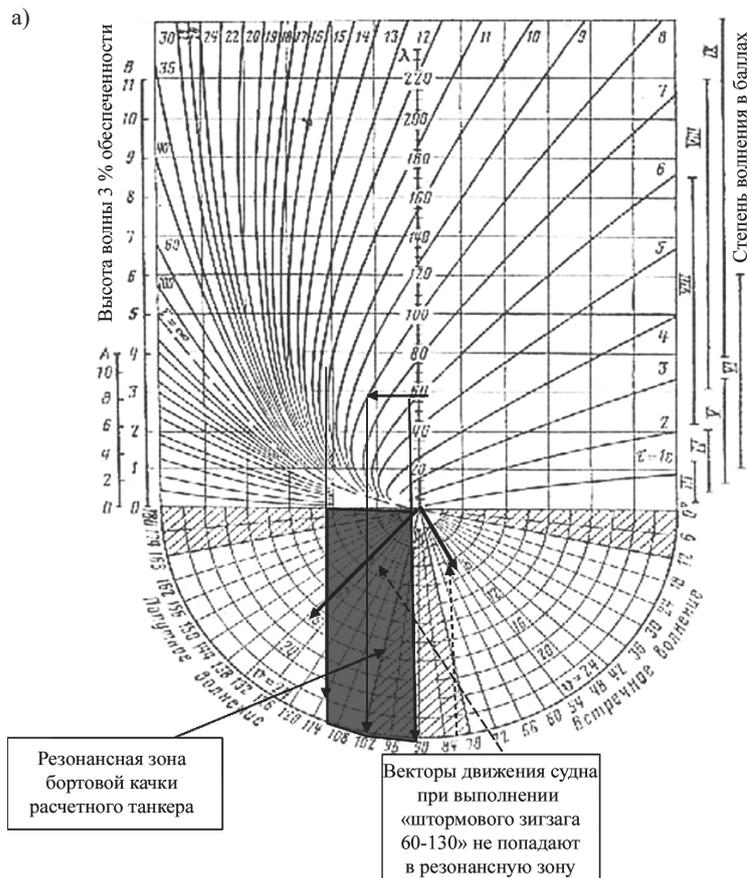
Сравнительная схема расчета параметров эффективного и безопасного «штормового зигзага 60–130»

Название маневра и его параметры	Значение
Маневр 60 «Поворот направо, КУВ = 60°»:	
КУВ, град.	90,0
Направление ИК (ПУ), град.	0,0
Изменение КУВ, град.	30,0
Изменение ИК, град.	30,0
Скорость, уз	9,0
Время, ч	0,9

Таблица 2
(Окончание)

Расстояние, мили	8,1
Движение по курсу (ПУ = 0), мили	7,0
Снос поперек курса (ПУ= 0), мили	4,1
Маневр 130 «Поворот направо, КУВ = 130°»:	
КУВ, град.	130,0
Изменение курса, град.	-70,0
Внутренний угол для расчета	-40,0
Скорость, уз	15,0
Время, ч	1,1
Расстояние, мили	16,5
Движение по курсу (ПУ = 0), мили	12,6
Снос поперек курса (ПУ = 0), мили	-10,6
Суммарное движение по курсу с эффективным штормовым зигзагом (без опасностей шторма), мили	19,7
Скорость с КУВ = 90 уз	10,6
Без маневра с КУВ = 90 град (с опасностями штормового плавания), мили	21,2

Как следует из результатов, приведенных в табл. 1 и 2, предложенный способ осуществления эффективных «штормовых зигзагов 60–120 и 60–130» позволяет не только избежать основных опасностей штормового плавания за счет безопасного маневрирования, но и совершать переход по заданному направлению (ПУ = 0°) без значительной потери пройденного расстояния. Оценка безопасности «штормового зигзага 60–130» на боковом волнении с точки зрения попадания в резонанс по различным видам качки приведена на рис. 8.



б)

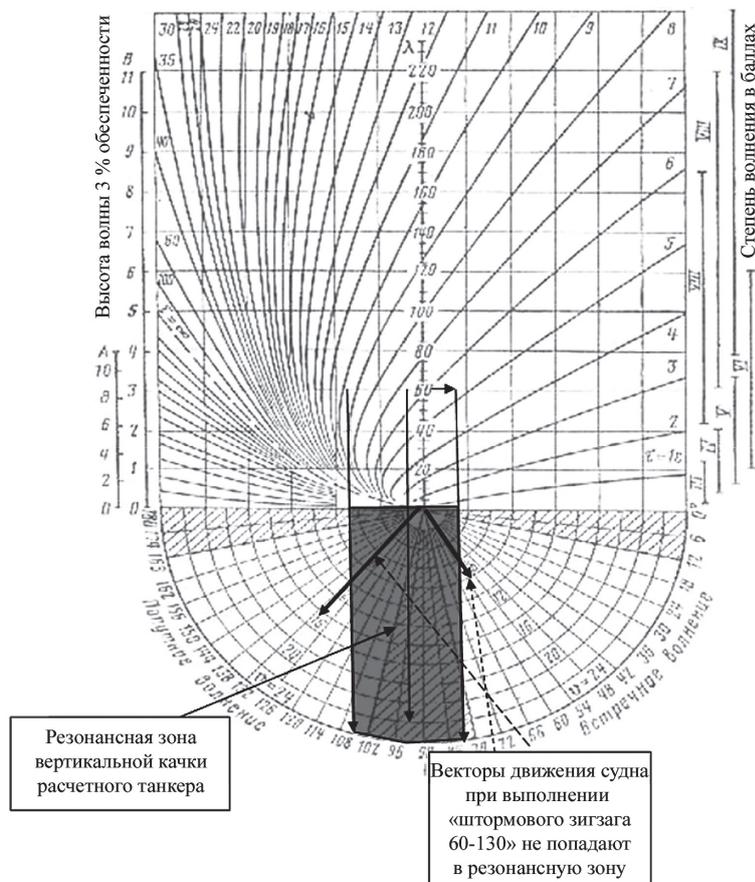


Рис. 8. Оценка положения танкера при выполнении «штормового зигзага 60–130» относительно рассчитанных резонансных зон: а — бортовой качки; б — вертикальной качки

Оценка опасности попадания в резонанс по различным видам качки может быть выполнена путем построения резонансных зон на диаграмме Ю. В. Ремеза и определения положения танкера при выполнении «штормового зигзага 60–130». Векторы движения расчетного танкера не попадают в резонансные зоны по бортовой и вертикальной качке (см. рис. 8). Движение танкера при выполнении «штормового зигзага 60–130» является безопасным с точки зрения попадания в резонанс по основным видам качки. В том случае, если КУВ = 130° попадает в резонансную зону по отдельным видам качки, его значение может быть увеличено до КУВ = 135°. Таким образом, безопасный «штормовой зигзаг 60–130» может быть преобразован в «штормовой зигзаг 60–135» без потери скорости перехода (см. рис. 4).

В работе [13] показано, что наиболее вероятным является возникновение опасного слеминга и слеппинга на КУВ = 30–40°. Для решения проблем обеспечения безопасности танкера при выполнении «штормовых зигзагов» удобно использовать изображение зоны возможного слеминга и слеппинга на диаграмме Ю. В. Ремеза. Оценка положения танкера при выполнении «штормового зигзага 60–130» относительно зоны возможного слеминга и слеппинга расчетного танкера, приведенная на рис. 9, показывает, что параметры движения расчетного танкера при выполнении «штормового зигзага 60–130» не попадают в опасную зону. Таким образом, выполнение «штормового зигзага 60–130» делает движение танкера безопасным от возможного возникновения слеминга и слеппинга.

Анализ безопасности и эффективности выполнения «штормовых зигзагов» на всем диапазоне курсовых углов ветра и волнения от КУВ = 0–180° с учетом [13], [14] позволяет предложить универсальную диаграмму безопасного и эффективного маневрирования танкеров путем выполнения этих маневров.

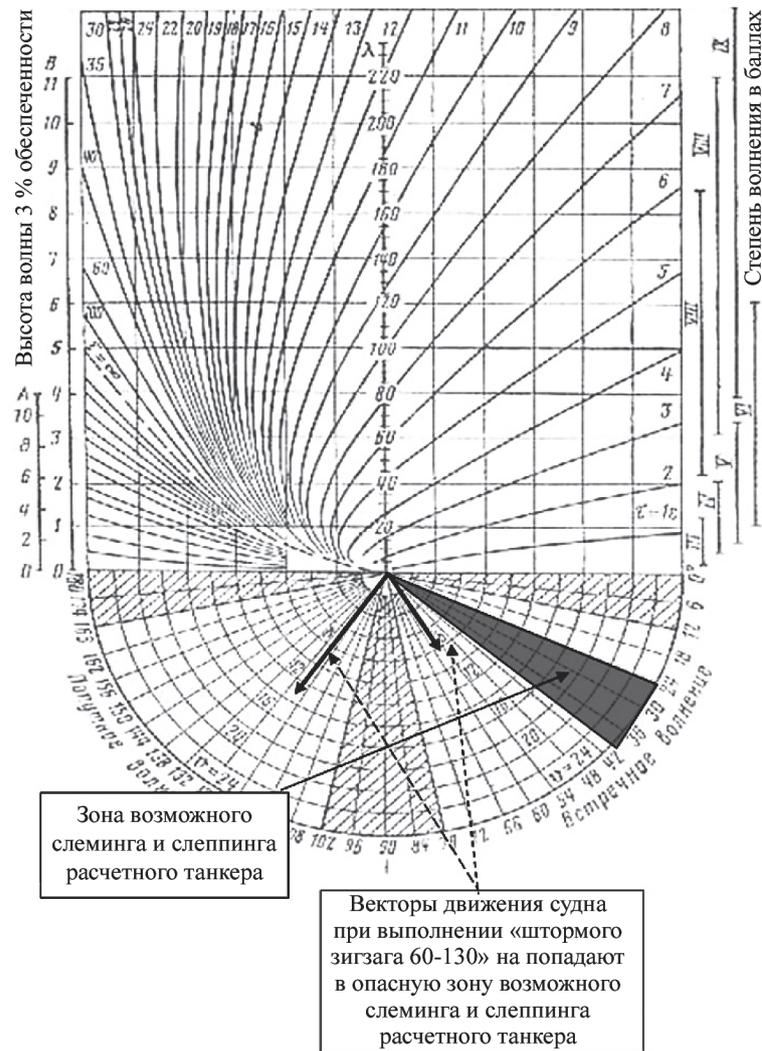


Рис. 9. Оценка положения танкера при выполнении «штормового зигзага 60–130» относительно зоны возможного слеминга и слеппинга расчетного танкера

Общий вид предлагаемой универсальной диаграммы штормового плавания для определения параметров «штормовых зигзагов» танкеров приведен на рис. 10. На внешней границе универсальной штормовой диаграммы показаны стрелки, характеризующие «попадание» танкера в определенные диапазоны КУВ, определяемые в соответствии с первоначальным направлением движения судна и волнения. На внутренней части диаграммы показаны параметры рекомендованного «штормового зигзага», позволяющего снизить опасность штормового плавания в данном диапазоне КУВ, максимально сохранив скорость движения судна по первоначальному направлению движения.

С учетом данных, приведенных в источниках [1]–[7], [13], способ использования и корректировки универсальной диаграммы безопасного и эффективного маневрирования танкеров в условиях шторма путем выполнения «штормовых зигзагов» (см. рис. 10) заключается в следующем.

1. В условиях развивающегося ветрового волнения и шторма определяется КУВ ветра и волнения. Для этого может использоваться пеленгатор и репитер гирокомпаса на крыле ходового мостика. Характерными признаками развивающегося ветрового волнения является практическое полное совпадение КУВ ветра и волнения. При этом на водной поверхности видны характерные «барашки» ветровых волн.

2. На внешней границе универсальной диаграммы наносится найденное значение КУВ (примером служат голубые стрелки на внешней границе универсальной диаграммы — см. рис. 10).

3. Определяется диапазон курсовых углов ветра и волнения, в который «попадает» измеренный КУВ. При этом на универсальной диаграмме (см. рис. 10), используются следующие обозначения:

«12–12» — рекомендуется «штормовой зигзаг 12–12°», позволяющий снизить опасность килевой и вертикальной качки на встречном волнении без существенного снижения скорости движения судна по заданному ПУ (см. [5], [13]);

«12–60» — рекомендуется «штормовой зигзаг 12–60», позволяющий избежать значительного снижения скорости и опасности бортового слеминга, а также сохранить скорость движения судна по заданному ПУ (см. рис. 1–6, табл. 1);

«60–130» — рекомендуется штормовой зигзаг «60–130°» (см. рис. 7–10, табл. 2);

«60–135» — рекомендуется штормовой зигзаг «60–135°» (при «попадании» КУВ = 130° в резонансные зоны по различным видам качки, см. рис. 7–10);

«135–135» — рекомендуется «штормовой зигзаг 135–135°» (см. [1], [13]) для судов с пониженной остойчивостью и танкеров в аварийной ситуации);

«168–168» — рекомендуется штормовой зигзаг «168–168°» (см. [1], [13]).

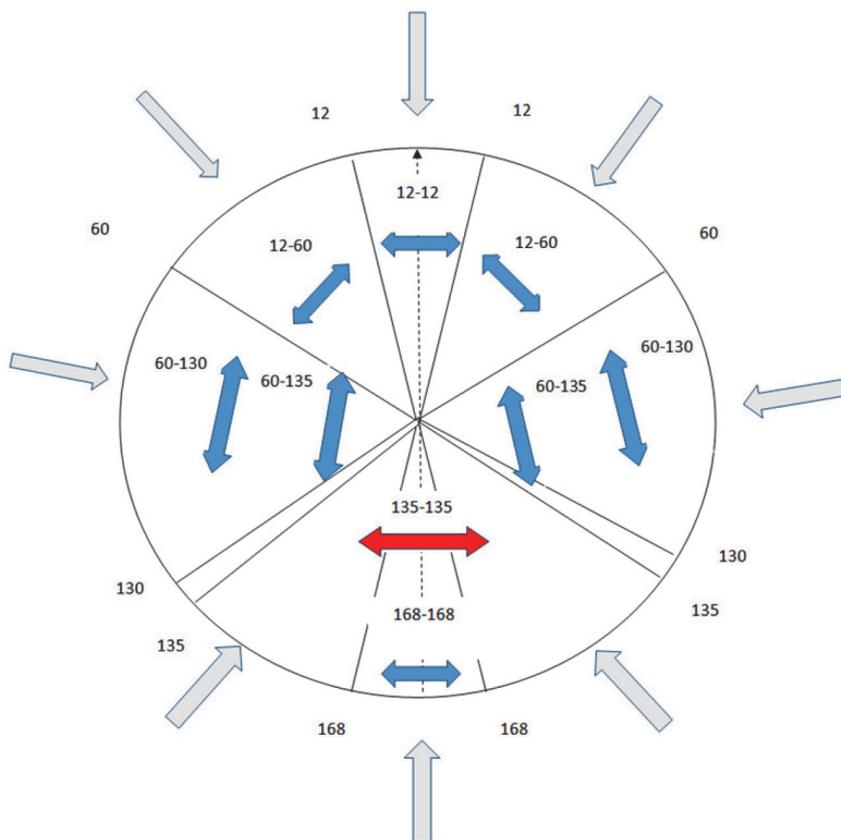


Рис. 10. Универсальная диаграмма безопасного и эффективного маневрирования танкеров в условиях шторма путем выполнения «штормовых зигзагов»

4. Определяются навигационные ограничения для выполнения рекомендованного штормового зигзага.

5. Выполняется рекомендованный из универсальной диаграммы штормовой зигзаг.

6. При выполнении штормового зигзага контролируется скорость танкера для уточнения зависимости скорости от КУВ (см. рис. 4 с использованием [3]).

7. Уточняются данные универсальной диаграммы эффективного и безопасного маневрирования танкеров в условиях шторма (см. рис. 10) для последующего использования.

Обсуждение (Discussion)

Преодоление последствий ограничений, вызванных эпидемией COVID-19, в сфере морского транспорта возможно при обеспечении безопасности судоходства, а также реализации ритмичных и своевременных поставок грузов в порты и терминалы.

Большая часть морских перевозок осуществляется в условиях штормового плавания, что увеличивает риск возникновения аварий и задержки доставки грузов. Интенсивное внедрение современных технологий во все сферы деятельности современного морского флота до недавнего времени не затрагивало проблемы штормового плавания. Предложенные в настоящей статье, а также в более ранних работах авторов исследования способы штормования с использованием «штормовых зигзагов» позволяют обеспечить эффективность и безопасность маневрирования танкеров в условиях шторма. Использование этих маневров дает возможность использования выбора океанских путей и маневров, которые позволяют решать комплексную задачу — одновременно обеспечивать условия безопасности и сохранять скорость движения по заданному направлению движения.

Полученные в настоящей статье выводы совпадают с данными авторов других работ о возможности определения способов штормового плавания, обеспечивающих безопасность и сохранение скорости при переходе судов по заданному пути.

Результаты настоящей работы могут быть использованы для развития методов обеспечения безопасности и сохранения скорости при плавании в шторм с учетом особенностей танкеров и судов других типов, а также оптимизации рейсовых расходов.

Выводы (Summary)

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотренный в настоящей статье способ использования «штормовых зигзагов» для обеспечения безопасного и эффективного маневрирования танкеров показывает возможность решения проблем безопасности и сохранения скорости движения судна по выбранному пути в условиях штормового плавания.

2. Предложены способы определения параметров «штормовых зигзагов» на различных курсовых углах ветра и волнения с использованием универсальной диаграммы безопасного и эффективного маневрирования танкеров в условиях шторма путем выполнения соответствующих маневров.

3. Предложены методы уточнения и совершенствования универсальной диаграммы безопасного и эффективного маневрирования танкеров в условиях шторма путем выполнения «штормовых зигзагов» на основании измерения скорости и оценки безопасности конкретного «штормового зигзага» судна.

4. Предлагаемые в настоящей статье методы обеспечения безопасности и сохранения скорости при штормовом плавании путем выполнения «штормовых зигзагов» могут быть распространены на другие типы судов, что позволит обеспечить безопасность и эффективность их плавания в штормовых условиях.

5. Результаты настоящей статьи позволяют оптимизировать рейсовые расходы и уменьшить ходовое время в условиях штормового плавания при грузовых и балластных переходах танкеров и других типов судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ершов А. А.* Способы автоматизации штормового плавания судна / А. А. Ершов, А. В. Теренчук // Научно-технический вестник Поволжья. — 2015. — № 4. — С. 62–64.

2. *Бояринов А. М.* Анализ применимости формул расчета ветро-волновых потерь скорости хода морских судов / А. М. Бояринов, А. А. Ершов, С. М. Пылаев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1168–1174. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1168-1174.

3. *Ершов А. А.* Способы увеличения скорости и экономии топлива танкера при штормовом плавании / А. А. Ершов, П. И. Буклис // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1122–1131. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1122-1131.

4. Ершов А. А. Практические способы расхождения танкера со штормом / А. А. Ершов, С. Ю. Развозов, П. И. Буклис // Сборник тезисов докладов национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2019. — С. 81–83.

5. Ершов А. А. Способы эффективного маневрирования танкера в условиях шторма / А. А. Ершов, П. И. Буклис, С. Ю. Развозов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 515–525. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-515-525.

6. Ершов А. А. Использование маневра «12–60» для безопасного и эффективного маневрирования танкера в шторм / А. А. Ершов, П. И. Буклис, С. Ю. Развозов // Приоритетные направления научных исследований. Анализ, управление, перспективы: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Челябинск, 02 февраля 2021 г.). — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2021. — С. 59–60.

7. Нуриев Р. А. Процедура выбора оптимального пути океанского перехода при штормовом плавании / Р. А. Нуриев, А. А. Ершов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 5. — С. 625–635. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-625-635.

8. Чертков А. А. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана – Форда / А. А. Чертков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 1113–1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.

9. Бодровцева Н. Ю. Систематизация факторов и показателей оценки конкурентоспособности морских портов / Н. Ю. Бодровцева // Транспортное дело России. — 2017. — № 2. — С. 105–109.

10. Русинов И. А. Опыт Японии в области регулирования линейного судоходства / И. А. Русинов, И. А. Гаврилова, А. Г. Нелогов // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15. — № 1 (68). — С. 150–160.

11. Степанов А. Развитие портов и контейнерных терминалов / А. Степанов, О. Вербило // Логистика. — 2017. — № 3 (124). — С. 25–33.

12. Плотников С. Н. Модель прохождения судов через участок водного пути формирующая расписание в процессе своего выполнения / С. Н. Плотников, В. Е. Марлей // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2017. — Т. 79. — № 1 (71). — С. 114–118. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-1-114-118.

13. Липис В. Б. Безопасные режимы штормового плавания судов: справ.-практ. пособие / В. Б. Липис, Ю. В. Ремез. — М.: Транспорт, 1982. — 117 с.

14. Stewart R. Introduction to Physical Oceanography / R. Stewart. — Texas: Department of Oceanography Texas A&M University, 2008. — 353 p.

REFERENCES

1. Ershov, A. A., and A. V. Terenchuk. “Ways to automate storm navigation of the vessel.” *Scientific and Technical Volga region Bulletin* 4 (2015): 62–64.

2. Boyarinov, Alexander M., Andrey A. Ershov, and Sergey M. Pylayev. “Analysis of the applicability of the formulas the calculation of the loss of ships speed due to wind and waves.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Mararova* 9.6 (2017): 1168–1174. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1168-1174.

3. Ershov, Andrey A., and Peter I. Buklis. “Ways to increase speed and save fuel tanker in storm conditions.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1122–1131. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1122-1131.

4. Ershov, A. A., S. Yu. Razvozov, and P. I. Buklis. “Prakticheskie sposoby raskhozheniya tankera so shtormom.” *Sbornik tezisev dokladov natsional’noi nauchno-prakticheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel’skogo sostava FGBOU VO «GUMRF imeni admiral S. O. Makarova»*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2019. 81–83.

5. Ershov, Andrey A., Peter I. Buklis, and Sergey Yu. Razvozov. “Ways to effectively maneuver a tanker in a storm.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.3 (2020): 515–525. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-515-525.

6. Ershov, A. A., P. I. Buklis, and S. Yu. Razvozov. “Ispol’zovanie manevra «12–60» dlya bezopasnogo i effektivnogo manevrirovaniya tankera v shtorm.” *Prioritetnye napravleniya nauchnykh issledovaniy. Analiz, upravlenie, perspektivy: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* Ufa: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost’yu “OMEGA SAINS”, 2021. 59–60.

7. Nuriev, Ramazan A., and Andrey A. Ershov. "Procedure for choosing the optimal ocean route when gale." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.5 (2021): 625–635. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-625-635.
8. Chertkov, Alexander A. "Automation selection shortcuts routes of ships on the basis of modified BellmanFord Algorithm." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5 (2017): 1113-1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.
9. Bodrovteva, N. "Systematization of an assessment factors and indicators of the seaports competitiveness." *Transport business of Russia* 2 (2017): 105–109.
10. Rusinov, Igor A., Irina A. Gavrilova, and Andrey G. Nelogov. "Japan's experience in governing liner shipping." *World of Transport and Transportation* 15.1(68) (2017): 150–160.
11. Stepanov, A., and O. Verbilo. "Razvitie portov i konteynernykh terminalov." *Logistika* 3(124) (2017): 25–33.
12. Plotnikov, S. N., and V. E. Marlei. "Model of passage of vessels through the waterway section forming the schedule in the course of its implementation." *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies* 79.1(71) (2017): 114-118. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-1-114-118.
13. Lipis, V. B., and Yu. V. Remez. *Bezopasnye rezhimy shtormovogo plavaniya sudov. Spravochno-prakticheskoe posobie*. M.: Transport, 1982.
14. Stewart, R. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas: Department of Oceanography Texas A&M University, 2008.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ершов Андрей Александрович —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ershov_63@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru
Буклис Петр Игоревич — аспирант
Научный руководитель:
Развозов Сергей Юрьевич
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: petyunyaaa@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru
Развозов Сергей Юрьевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_mus@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ershov, Andrey A. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: ershov_63@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru
Buklis, Peter I. — Postgraduate
Supervisor:
Razvozov, Sergey Yu.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: petyunyaaa@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru
Razvozov, Sergey Yu. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_mus@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 13 января 2022 г.
Received: January 13, 2022.