

УДК 656.61

DOI: 10.37890/jwt.vi80.525

Лавировка парусного судна на течении

В.Н. Яковлев

ORCID: 0000-0001-7624-7569

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия

Аннотация: Движение судна под парусом прямо против ветра невозможно. В случае, когда пункт назначения находится прямо против ветра, парусное судно движется галсами, направление которых зависит от типа парусного вооружения и составляет в среднем 45 градусов от генерального курса для судов с косыми парусами. Иногда движение галсами становится полезным для продвижения по генеральному курсу и при ветре попутном. Раскладка галсов (выбор галсов и точек их смены) является не простой задачей и зависит от множества, в том числе изменение (может быть предполагаемое) силы и направления ветра, а также силы и направления течения по пути к цели. Обычно раскладка галсов является задачей тактической, то есть решаемой непосредственно в пути (в чем смысл гонок яхт). Однако, и при планировании перехода предварительная раскладка может дать полезную информацию для выбора предстоящих сценариев действий. В статье рассматриваются вопросы планирования переходов парусного судна с лавировкой против ветра и по ветру с учетом течения, а также уточнение терминологии применительно ко всем ветрам, участвующим в создании вымпельного ветра, действующего на паруса.

Ключевые слова: поляр парусного судна, раскладка галсов, лавировка на ветер, лавировка на попутном курсе, переносный, относительный, географический, истинный, вымпельный ветры, угол дрейфа, генеральный курс.

Tacking a sailing ship in the current

Vladimir N. Yakovlev

ORCID: 0000-0001-7624-7569

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract: It is impossible for a vessel to move under sail directly against the wind. In the case where the destination is directly against the wind, the sailing vessel moves on tacks, the direction of which depends on the type of sailing rig and is on average 45 degrees from the general course for ships with triangular sails. Sometimes tack movement becomes useful for moving along the general course and with a fair wind. Laying out tacks (selecting tacks and points for changing them) is not a simple task and depends on many things, including changes (maybe expected) in the strength and direction of the wind, as well as the strength and direction of the current along the way to the goal. Usually, tack layout is a tactical task, which is, solved directly on the way (which is the point of yacht racing). However, even when planning a transition, a preliminary layout can provide useful information for choosing upcoming action scenarios. The article discusses the issues of planning passages of a sailing vessel tacking upwind and downwind, taking into account the current, as well as clarifying the terminology in relation to all winds involved in the creation of the apparent wind acting on the sails.

Keywords: polar of a sailing ship, tacks layout, upwind tacking, tacking on stern wind, translating, relative, geographical, true, apparent winds, leeway angle, general course.

Введение

История паруса в судоходстве составляет много веков. В некоторых аспектах она и не прерывалась с тех далеких времен до наших дней. Не говоря о небольших судах (яхтах_ для гонок и развлечений), парусный флот считается, например, лучшим средством обучения морской практике курсантов морских училищ.

На рис.1а фотография известного представителя учебного флота - португальского барка «Сагреш», кстати, систерशिпа бывшего (увы), нашего учебного барка «Товарищ».

Парусные суда строятся для все более растущего количества любителей впечатлений от морских круизов под парусами. На рис.1б фотография парусника-отеля «Sea Cloud II», как пример единения бытового комфорта со всеми неповторимыми ощущениями, которые можно получить в море под парусом.

Пример использования парусов на действующем грузовом судне «Сапорée» показан на рис.1в [4]. Судно длиной 121 метр предназначено для перевозки европейской ракеты-носителя Ariane 6. Создавшая его компания Zéphyr & Borée проектирует инновационные торговые суда, со сниженным уровнем углеродных выбросов.

Другие фотографии грузовых парусных судов можно найти на сайтах специализированных изданий, таких как "The Maritime Magazine", "Shipbuilding and Shipping Review" и "Marine News".

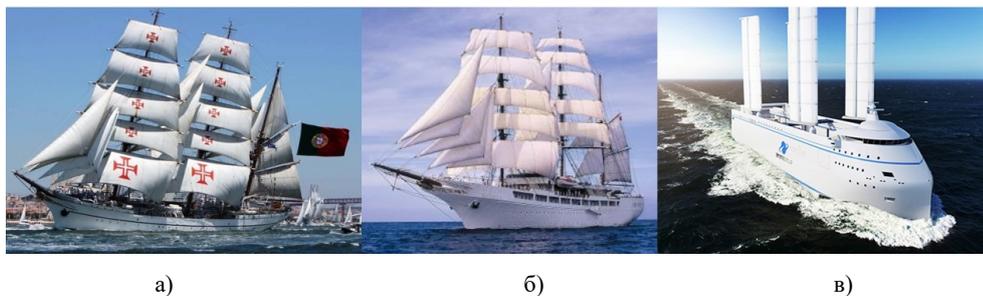


Рис.1. Современные парусные суда: а) учебный барк «Сагреш», б) круизный парусник «Sea Cloud II», в) грузовое судно «Сапорée»

Примеры различных концептов и проектов грузовых судов с парусным вооружением, активно создаваемые в настоящее время можно найти в работах, в том числе, по публикациям этого года [1-3, 6-11].

В редакционной статье с сайта Российского профессионального союза моряков [5] с характерным названием «Парусные суда возвращаются», опубликованной в этом году, справедливо говорится, что: «Морякам будущего нужно будет обладать еще большим багажом знаний, чтобы качественно и безопасно выполнять свою работу в новых условиях, и очень важно, чтобы они могли получить их в учебных морских заведениях».

Таким образом, вопросы специфики использования паруса для движения судна стали актуальными и требующими в ряде случаев дополнительного аккуратного анализа в вопросах теории.

Материалы и методы

В настоящей статье рассматриваются вопросы движения парусного судна, генеральный курс которого проходит точно против и точно по ветру. В первом случае судно не может идти иначе, как в лавировку (галсами). Во втором случае лавировка

на попутном курсе может дать более быстрое продвижение к цели по сравнению с «чистым» фордевиндом.

Прежде чем приступать к построениям, необходимо договориться о терминах, в названиях и использовании которых есть в литературе разночтения. В том числе это относится и ко смыслу, и к применению таких терминов, как ветры истинный, действующий, курсовой и т.д. Нет устоявшегося термина для ветра, который ощущается на судне, влекомом течением через неподвижный воздух и т.д.

При обсуждении этого вопроса и при построениях будем пользоваться для краткости сокращениями эквивалентных английских терминов, как это принято в специальной литературе.

Перечислим термины для описания модулей векторов скоростей ветров, дающих вклад в формирование действующего на паруса вымпельного ветра:

- ветер географический - ветер над сушей (Geographic Wind Speed GWS);
- ветер переносный - ветер, возникающий исключительно за счет переноса судна течением) - ветер со скоростью течения, направленный в противоположную направлению течения сторону (Bulk Wind Speed BWS);
- ветер истинный - ветер над водой, представляющий собой векторную сумму географического ветра и ветра переносного (True Wind Speed TWS);
- ветер относительный - ветер, возникающий исключительно из-за движения судна по воде (Relative Wind Speed RWS);
- ветер вымпельный - ветер, действующий на паруса, представляющий собой векторную сумму истинного ветра TWS и относительного ветра RWS (Apparent Wind Speed AWS = TWS + RWS);

Для направлений векторов ветров используются термины

- угол (Angle A) - угол относительно диаметральной плоскости судна, (например, TWA);
- направление (Direction D) - относительно истинного севера (например, TWD);
- Для характеристик течения используются термины (оба относительно Земли):
- направление течения (Current Set SET);
- скорость течения (Current Drift DFT);

Для описания движения судна используются термины

- истинный курс судна (Heading H) - относительно истинного севера;
- курс по воде (Course Through the Water CTW) - траектория по воде с учетом ветрового дрейфа;
- скорость судна по воде (Speed Through the Water STW);
- угол ветрового дрейфа (LEEWAY) (угол между Heading и CTW);

В этом перечислении самыми важными, пожалуй, являются термины названий ветров, часть из которых не является общепринятыми, однако представляется, что без их использования невозможно строго и однозначно формулировать, и описывать решение поставленной задачи.

Результаты

На рис.2а показаны исходные данные для построений траекторий судна. Пусть имеется участок шириной 10 миль (nm) с течением (строго восточным) скоростью 1,5 узлов (kn), при том, что географический ветер (строго северный) направлен перпендикулярно течению и имеет скорость 10 узлов. Пунктиром показан предстоящий путь судна между пунктами А и В. Эта конфигурация параметров остается неизменной везде далее в построениях.

Рассмотрим вначале случай лавировки на ветер, т.е. из п.А в п.В. Для построений раскладки галсов будем использовать верхние ветви поляры условного судна, приведенную на рис.2б.

Вертикальная ось (0-6) сетки поляры на рис.2б показывает скорость судна в узлах (по соответствующим радиусам).

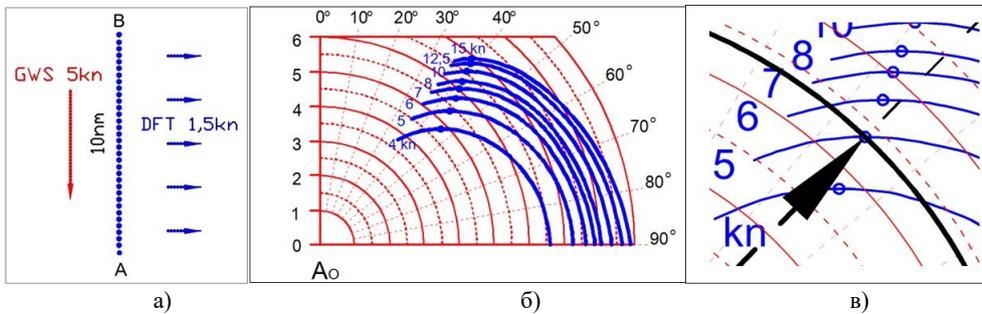


Рис. 2. Исходные данные: а) условия планируемого перехода, б) верхние ветви поляр для движения на ветер, в) построение вектора скорости судна по воде

Лучи, выходящие из центра (левого нижнего угла) полярной сетки A_0 показывают угол между траекторией движения судна по воде и направлением истинного ветра.

Цифры около полярных кривых (собственно поляр) показывают скорость истинного ветра, для которого они получены (или рассчитаны).

Метки на полярных кривых соответствуют максимальной скорости выхода на ветер (лави́ровочные углы).

Для определения направления и скорости движения по воде строим вектор из т. A_0 (нижней левой точки координатной сетки) в точку лавировочного угла для заданной скорости ветра (5 узлов), как показано на рис.2в.

По значению радиуса дуги (сплошная линия на рис.6.) находим скорость судна, а по продолжению направления полученного вектора (тонкий пунктир на рис.3а) - угол к истинному ветру.

Это направление лавировки левым галсом.

Направление лавировки левым галсом есть зеркальной отражение построенного вектора относительно вертикальной оси ($A_0 0^\circ$).

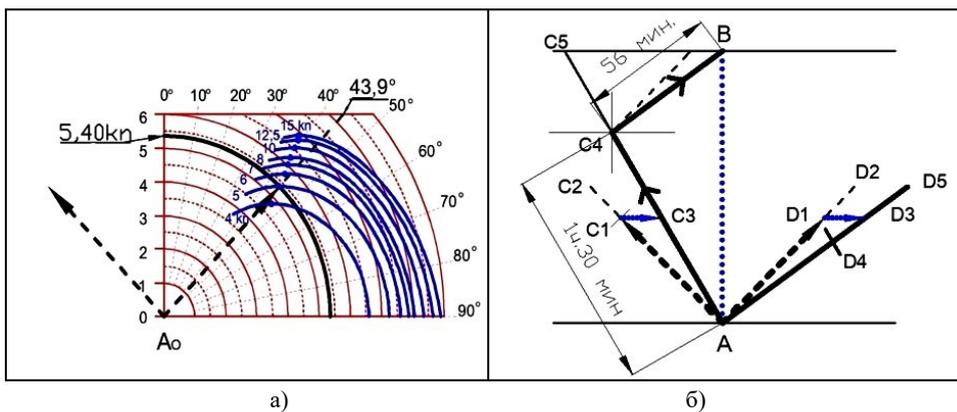


Рис.3. Раскладка галсов с помощи поляры судна без учета влияния течения на вымпельный ветер: а) определение скорости и направления движения судна по воде, б) планирование перехода из А в В с учетом течения

Результат определения вектора движения судна по воде показан на рис.3а.

Перенесем теперь полученные вектора движения по воде правым и левым галсами на исходную картину нашей задачи (рис 2а).

Получается картина, приведенная на рис.3б.

Стартуя из точки А левым галсом мы через час попали бы в точку D1, но за это время течение унесет нас в точку D3.

Продолжая двигаться этим же галсом, мы стали перемещались по направлению AD5, относительно берега.

Если мы стартуем правым галсом, то двигаясь по воде в точку С1 мы через час попадаем (с течением) в точку С3, так, что наш путь относительно берега пойдет через эту точку по направлению AC5.

При лавировке на ветер при прочих равных выбирают галс, при котором меньше удаление от генерального курса. Так, что очевидно, что стартовать надо правым галсом, хотя скорость выхода на ветер в этом случае на обоих галсах одинакова.

Точка смены галса легко определится построением на этом же рисунке 3б. Надо прямую, на которой лежит отрезок AD5 параллельным переносом двигать вверх до того момента, когда она пройдет через точку назначения В.

Пересечение этой прямой с линией AC5 даст положение точки С4 смены галса.

Аналогично определяется положение точки смены галса D4, если мы все же стартовали левым галсом.

Если масштабы величин скорости ветра, скорости течения и масштаб шкалы сетки поляр согласованы (а они должны быть, конечно, согласованы), то несложно посчитать время движения до смены галса и общее время перехода. В данном случае время перехода составляет 2 часа 26 минут.

Казалось бы, все хорошо. Между тем, однако, приведенный пример не корректен, т.к. влияние течения в нем учитываются не полностью. И объясняется это, в частности, неправильной трактовкой понятия истинный ветер при течении. Необходимо учитывать влияние течения на ветер, которым располагает для движения парусное судно. Если трактовать это понятие как указано выше в данной статье, т.е. что истинный ветер на течении есть векторная сумма географического и переносного ветров, то правильное построение будет выглядеть так.

Находим скорость и направление истинного ветра, как показано на рис.4а., складывая вектора TWS и BWS

Таким образом, истинная скорость (по которой и строятся поляры) оказывается в нашем случае несколько выше (5.22, а не 5,00 kn) и чуть иначе направлена (43,5° а не 43,9°).

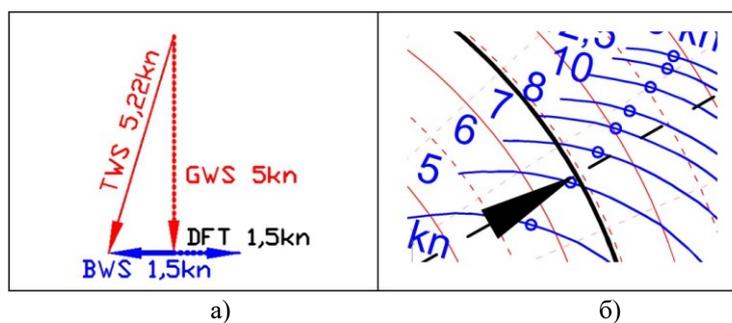


Рис.4. Полный учет влияния течения на определение истинного ветра:
 а) истинный ветер как сумма векторов BWS и GWS, б) уточненное определение вектора скорости судна по воде

Соответственно, положение конца вектора скорости и направления движения судна по воде нужно размещать на отрезке, соединяющем «лабиринтные» точки для скоростей ветра 5 и 6 узлов, на пропорциональном расстоянии (в данном случае около 0,2 длины этого отрезка). Соответственно, чуть (в данном случае) изменится и угол относительного истинного ветра (обычно при больших скоростях ветра судно может идти чуть острее) (рис.4б.).

Для того, чтобы правильно определить направление полученных (для разных галсов) векторов скорости движения по воде необходимо повернуть кривые поляри и сетку так, чтобы направление левой шкалы шло точно по направлению «правильного» истинного ветра, как это показано на рис.5а.

При перенесении на карту нужно точно соблюдать полученные на рис.5а. направления и модули векторов скоростей для обоих галсов.

Перенос с сетки поляры векторы движения судна относительно воды на «карту» получаем картину, приведенную на рис.5б.

Казалось бы, и скорость течения не особенно велика, а картина с раскладкой галсов изменилась довольно сильно.

Скорость выхода на ветер у правого галса существенно выше.

При небольшом увеличении скорости потока или снижении скорости ветра весь переход может пройти одним галсом.

Старт правым галсом безальтернативен.

Общее время перехода в этом случае составляет 2 часа 4 минуты, что заметно отличается от времени перехода (2 часа 26 минут) полученного для случая, когда истинный ветер был определен неправильно.

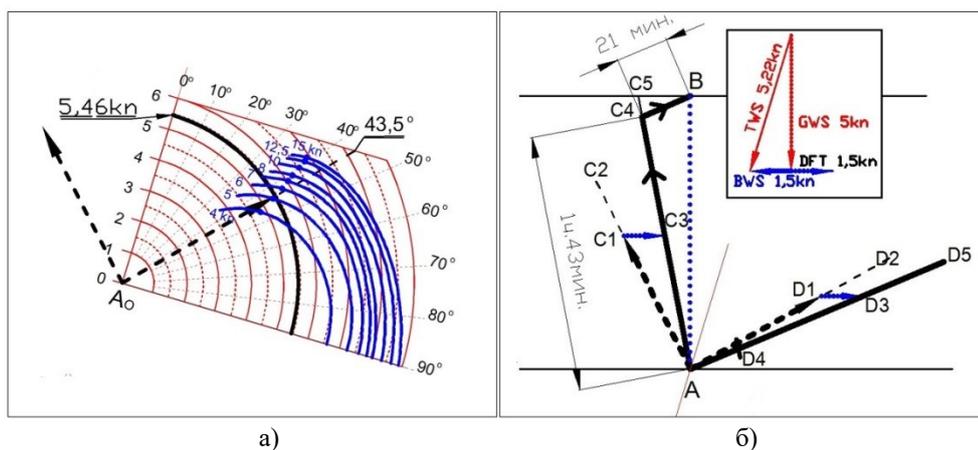


Рис. 5. Лавировка на ветер с учетом влияния течения на вымпельный ветер: а) построение векторов скорости судна по воде. б) раскладка галсов при лавировке на ветер с полным учетом влияния течения

Рассмотрим теперь плавание в обратном направлении из т.В в т.А. нашей карты. Предстоит лавировка на попутном курсе.

Характерный вид ветвей поляры для этого случая приведен на рис.6а.

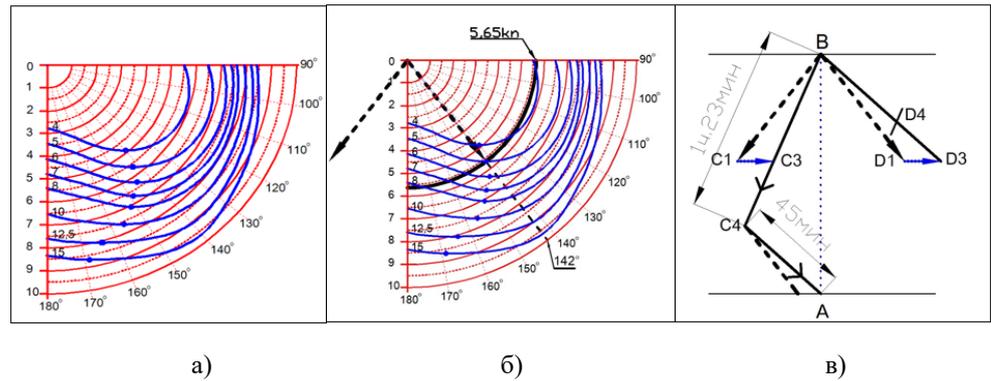


Рис.6. План перехода без учета влияния течения на выпелный ветер:
 а) ветви поляра для полных курсов, б) построение векторов скоростей судна по воде,
 в) построение плана перехода под ветер

Обсуждение

На ветвях поляры отмечены маркерами направления движения (углы лавировки на попутном курсе), соответствующие максимальной скорости убегания под ветер.

Видно, что при малых скоростях ветра лавировка на попутном курсе может дать существенней выигрыш в продвижении по дистанции. Пользуясь этими данными, сравним отличия в картинах планирования перехода для случаев правильного и не правильного учета течения на ветер для судна.

Логика и характер картин аналогичны тем, что использовались выше для лавировки на ветер, так, что картинки говорят сами за себя без особых комментариев.

Итак, если за истинный ветер принять только географический, то получаются такие построения, как на рис.6б и 6в.

Правильный учет влияния течения на ветер показан на рис.7.

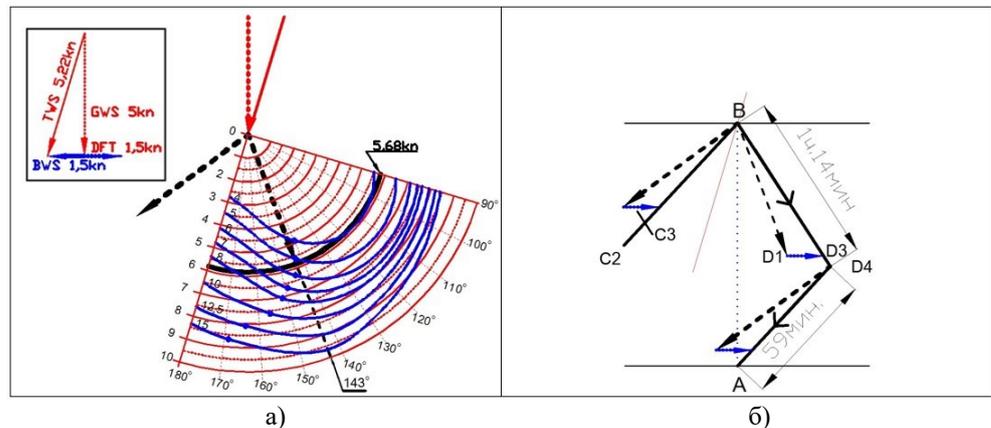


Рис.7. План перехода с правильным учетом влияния течения на выпелный ветер:
 а) построение векторов скоростей судна по воде, б) построение плана перехода под ветер

На рис. 6в. выгодным курсом представлялся правый галс, так как на нем меньше удаление от генерального курса, чем на левом (в этом смысле действует то же правило, что и для лавировки на ветер). Однако, при правильном учете влияния

переносного ветра на ветер вымпельный оказывается более выгодным уже левый галс, как видно из рис.7б. То есть, казалось бы, небольшие поправки на скорость и направление «правильного» истинного ветра существенно могут поменять план перехода (например - каким галсом стартовать).

Заключение

Термины, введенные в этой статье и изменение содержания термина истинный ветер, могут обсуждаться только по названию, но не по смыслу. Названия должны быть у всех перечисленных ветров, хотя, может быть и другие.

Предлагаемая методика использования поляры в действительности очень проста, если начертить поляру (правильно построенную – это еще специальная тема) на прозрачной кальке, то все построения можно быстро выполнять непосредственно на карте. Строя в единицах масштаба левой шкалы (скоростей судна) вектора географического ветра и вектора скорости переносного ветра (равного по модулю скорости течения и направленного противоположно) построением получаем вектор истинного ветра. Затем, ориентируя по нему левую шкалу поляры определяем направления и скорость движения судна по воде. Выбираем галс и вперед.

Выводы статьи полезны для более точного понимания специфики хождения под парусом, что важно при обучении курсантов-судоводителей. Можно придумать множество задач для работы курсантов с картами.

Кроме того, методика может оказаться и практически полезной для планирования перехода на участках с заметным течением.

Список литературы

1. Bahtic, F. Smart Green Shipping, NTS to collaborate on new wing sail designs / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – June 2. – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/smart-green-shiping-nts-to-collaborate-on-new-wing-sail-designs/> (дата обращения: 07.10.2023).
2. Bahtic, F. Thordon's solution to support Aloft's wind propulsion systems / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – March 17 – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/thordons-solution-to-support-alofts-wind-propulsion-systems/> (дата обращения: 07.10.2023).
3. Saul, J. Cargill Testing New Sail Technology for Cargo Ships to Cut Emissions / Jonathan Saul – Текст : электронный // Maritime Propulsion. – March 1. – 2023. URL: <https://www.maritimepropulsion.com/news/cargill-testing-new-sail-603286> (дата обращения: 07.10.2023).
4. «Парусник-отель «Sea Cloud II»». URL.: <https://korabley.net/publ/1158.html> (дата обращения 10.04.23). – Текст: электронный
5. Российский профессиональный союз моряков. URL.: http://www.sur.ru/ru/news/lent/2023-03-15/parusnye_gruzovye_suda_vozvrashhajutsja_22156/%20%3E/ (дата обращения 10.04.23). – Текст: электронный
6. Smith, Tr. Researchers Are Looking To A Surprisingly Old Idea For The Next Generation Of Ships: Wind Power / Tristan Smith. – Текст : электронный // IFLScience. – August 8. – 2015. URL: <https://www.iflscience.com/researchers-are-looking-surprisingly-old-idea-next-generation-ships-wind-power-29924/> (дата обращения: 07.10.2023).
7. Bahtic, F. Thordon's solution to support Aloft's wind propulsion systems / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – March 17 – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/thordons-solution-to-support-alofts-wind-propulsion-systems/> (дата обращения: 07.10.2023).
8. Leary, K. New Ship With Rigid Solar Sails Harnesses the Power of Sun and Wind at the Same Time / Kyree Leary. – Текст : электронный // Futurism. – 2018. URL: <https://futurism.com/new-ship-rigid-solar-sails-harnesses-power-sun-wind-same-time> (дата обращения: 07.10.2023).

9. Бонд, Б. Справочник яхтсмена. / Б. Бонд. – Текст : непосредственный // Ленинград. – 1989г. – 336 с.
10. Dedekam, Ivar. Illustrated navigation. / Ivar Dedekam – Текст : непосредственный // 2 edition. Fernhurst Book. – England. – 2011г. – 85 с.
11. Slooff, J. The Aero- and Hydromechanics of Keel Yachts. / J. Slooff – Текст : непосредственный // Springer. – 2015. – 625 с.
12. Сидоров, В.И. Морская навигация. / В.И. Сидоров, В.В. Романов – Текст : непосредственный // Москва: Ад фонтас, – 2003. – 193 с.
13. Колс, К.А. Под парусом в шторм. / К.А. Колс – Текст : непосредственный // Ленинград, Гидрометеиздат. Перевод с английского Л.И.Лопатухина – 1985. – 128 с.

References

1. Bahtic, F. Smart Green Shipping, NTS to collaborate on new wing sail designs / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – June 2. – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/smart-green-shiping-nts-to-collaborate-on-new-wing-sail-designs/> (дата обращения: 07.10.2023).
2. Bahtic, F. Thordon's solution to support Aloft's wind propulsion systems / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – March 17 – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/thordons-solution-to-support-alofts-wind-propulsion-systems/> (дата обращения: 07.10.2023).
3. Saul, J. Cargill Testing New Sail Technology for Cargo Ships to Cut Emissions / Jonathan Saul – Текст : электронный // Maritime Propulsion. – March 1. – 2023. URL: <https://www.maritimepropulsion.com/news/cargill-testing-new-sail-603286> (дата обращения: 07.10.2023).
4. «Parusnik-otel'» «Sea Cloud II». URL.: <https://korabley.net/publ/1158.html> (дата обращения 10.04.23). – Текст: электронный
5. SEAFARERS' UNION OF RUSSIA. URL.: http://www.sur.ru/ru/news/lent/2023-03-15/parusnye_gruzovye_suda_vozvrashhajutsja_22156/%20%3E/ (дата обращения 10.04.23). – Текст: электронный
6. Smith, Tr. Researchers Are Looking To A Surprisingly Old Idea For The Next Generation Of Ships: Wind Power / Tristan Smith. – Текст : электронный // IFLScience. – August 8. – 2015. URL: <https://www.iflscience.com/researchers-are-looking-surprisingly-old-idea-next-generation-ships-wind-power-29924/> (дата обращения: 07.10.2023).
7. Bahtic, F. Thordon's solution to support Aloft's wind propulsion systems / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – March 17 – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/thordons-solution-to-support-alofts-wind-propulsion-systems/> (дата обращения: 07.10.2023).
8. Leary, K. New Ship With Rigid Solar Sails Harnesses the Power of Sun and Wind at the Same Time / Kyree Leary. – Текст : электронный // Futurism. – 2018. URL: <https://futurism.com/new-ship-rigid-solar-sails-harnesses-power-sun-wind-same-time> (дата обращения: 07.10.2023).
9. Бонд, Б. Справочник яхтсмена. / Б. Бонд. – Текст : непосредственный // Ленинград. – 1989г. – 336 с.
10. Dedekam, Ivar. Illustrated navigation. / Ivar Dedekam – Текст : непосредственный // 2 edition. Fernhurst Book. – England. – 2011г. – 85 с.
11. Slooff, J. The Aero- and Hydromechanics of Keel Yachts. / J. Slooff – Текст : непосредственный // Springer. – 2015. – 625 с.
12. Sidorov, V.I. Marine navigation. / V.I. Sidorov, V.V. Romanov – Text : direct // Moscow: Ad fontas, - 2003. – 193 p.
13. Kols, K.A. Under sail in a storm. / K.A. Kols – Text : direct // Leningrad, Hydrometeoizdat. Translated from English by L.I.Lopatukhin – 1985. – 128 p.12. Headifen, G. Measuring your leeway for better sailing. / G. Headifen – Текст : электронный // Sail-world. – 2010. URL: www.sail-world.com/71221 (дата обращения: 07.10.2023).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Яковлев Владимир Николаевич, к.ф.-м.н.
доцент, Сибирский государственный
университет водного транспорта, 630099, г.
Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail:
yvn@ngs.ru

Vladimir N. Yakovlev, Ph.D., Associate
Professor, Siberian State University of Water
Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina
str., 33, e-mail: yvn@ngs.ru

Статья поступила в редакцию 17.04.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.
Received 17.04.2024; published online 20.09.2024.