

УДК 656.07:338.47

JEL R41

DOI 10.31375/2226-1915-2018-4-73-96

В.А. Настасенко

к.т.н., доцент,

профессор кафедры транспортных технологий
nastasenko2004@ukr.net

Херсонская государственная морская академия, Украина

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ПАРУСНЫХ И ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В работе проведен технико-экономический анализ основных видов парусных и ветряных электрогенераторных систем на конкретных примерах судов и их перспективных проектов. Показано, что их применение для судов средней и большой водотоннажности не решает проблему полной замены двигателей на традиционном топливе, мощность которых превышает 30 МВт. При этом для парусных систем, работающих по принципу попутного действия ветра, главным ограничением является роза ветров, особенно – в экваториальной зоне, где среднегодовая скорость ветра составляет 5 м/с. При средней скорости судна 14-20 узлов, или 7-10 м/с, паруса эффективны, как дополнительные системы, лишь на маршрутах, привязанных к зонам стабильных сильных ветров, например 40-х широт. В остальных случаях их эффективное применение на транспортном флоте возможно лишь в 15-20 % выполняемых рейсов, что не позволяет экономить в год более 3 % топлива.

Эффективное применение судовых электрогенераторных ветряных систем, работающих по принципу встречного действия ветра, возможно даже в штиль за счет собственной скорости судна. При росте скорости встречного ветра от 0 м/с до 20 м/с, предельно допустимой для судов в штурм, мощность электрогенераторных систем возрастает до 30 раз. Однако они эффективны лишь при их размещении на лобовой поверхности надстроек судна, что предложено в патенте Украины на изобретение № 113088. Поэтому основным фактором, ограничивающим их мощность до 1 МВт, является площадь лобовой поверхности надстроек судна. Для крытых паромов, газозовов и пассажирских судов она растет и позволяет экономить до 5 % топлива.

Таким образом, парусные и ветряные электрогенераторные системы могут применяться, в т.ч. комплексно, только как дополнительные к двигателям судна.

Ключевые слова: судовая ветряная энергетика, ее достоинства и недостатки, технико-экономические показатели, рекомендации по применению.

В.А. Настасенко

к.т.н., доцент, профессор кафедры транспортных технологий
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ВІТРИЛЬНИХ ТА ВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНИХ СИСТЕМ

Анотація. У роботі проведено техніко-економічний аналіз основних видів вітрильних та вітряних електрогенераторних систем на конкретних прикладах

© Настасенко В.А., 2018

суден та їх перспективних проєктів. Показано, що їх використання для суден середньої та великої водотоннажності не вирішує проблему повної заміни двигунів на традиційному паливі, потужність яких перевищує 30 МВт. При цьому для вітрильних систем, що працюють за принципом попутної дії вітру, головним обмеженням є троянда вітрів, особливо – в екваторіальній зоні, де середньорічна швидкість вітру становить 5 м/с. При середній швидкості судна 14-20 вуз., або 7-10 м/с, вітрила ефективні, як додаткові системи, лише на маршрутах, прив'язаних до зон стабільних сильних вітрів, наприклад 40-х широт. В інших випадках їх ефективне використання на транспортному флоті можливо лише в 15-20 % виконуваних рейсів, що не дозволяє економити в рік більше 3% палива.

Ефективне використання суднових електрогенераторних вітряних систем, що працюють за принципом зустрічного дії вітру, можливо навіть в штиль за рахунок власної швидкості судна. При зростанні швидкості зустрічного вітру від 0 м/с до 20 м/с, гранично допустимої для суден під час шторму, потужність електрогенераторних систем зростає до 30 разів. Однак вони ефективні лише при їх розміщенні на лобовій поверхні надбудов судна, що запропоновано в патенті України на винахід № 113088. Тому основним чинником, що обмежує їх потужність до 1 МВт, є площа лобової поверхні надбудов судна. Для критичних поромів, газозовів і пасажирських суден вона росте і дозволяє економити до 5 % палива.

Таким чином, вітрильні та вітряні електрогенераторні системи можуть застосовуватися, в т.ч. комплексно, тільки як додаткові до двигунів судна.

Ключові слова: суднова вітряна енергетика, її переваги і недоліки, техніко-економічні показники, рекомендації щодо використання.

UDC 656.07:338.47

DOI 10.31375/2226-1915-2018-4-73-96

V.A. Nastasenko

Cand. tech. sciences, associate professor,
professor of the transport technologies department
nastasenko2004@ukr.net

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPLOITATION THE SAIL AND WIND ELECTRIC GENERATOR SYSTEMS OF THE SHIP

Abstract. This work relates to the field of non-conventional marine energetics, in particular – wind for the modern transport fleet. It carried out a technical and economic analysis of the main types of sailing and wind power generating systems using specific examples of real ships and their promising projects. It is shown that in the transport fleet their use for ships of medium and large water tonnage cannot solve the problem of complete replacement of engines on traditional oil or gas fuel, whose capacity exceeds 30 MW. At the same time, for sailing systems operating on tail wind principle, the main limitation is the wind rose, especially in the equatorial zone, where the average annual wind speed is 5 m/s. With an average ship speed of 14-20 knots, or 7-10 m/s, the sails are effective, as additional systems, only on routes bound to zones of stable strong winds, for example, «roaring» 40th latitudes. In other cases, their effective use in the transport fleet is possible only in 15-20 % of cruises performed, which does not allow to save more than

3 % of fuel. Another disadvantage is use of sailing systems only while ship is on speed in open sea. And besides, wind energy creates only traction for the ship, which is excluded in the absence of wind, as well as at anchorage and at the pier in port.

Effective use of ship power generation wind systems operating on principle of headwind wind action is possible even in calm due to the ship's own speed. Their use is possible for ships of any water tonnage, they operate in the presence of any wind at the anchorage, and even at the pier with a headwind. In this case, an electric energy which is universal for wide application is produced. It can be accumulated in batteries and used at any time, including the anchorage. With an increase of headwind speed from 0 m/s to 17-20 m/s, which is maximum permissible for ships in storm, the power of the generator systems increases up to 30 times. However, they are effective only when placed on frontal surface of the ship superstructures, which is proposed in the Ukrainian patent for invention № 113088. Therefore, the main factor limiting their power to 1 MW is an area of frontal surface of the ship superstructures. For covered ferryboats, gas carriers and passenger ships, it increases and saves up to 5 % of fuel.

So, sailing and wind power generating systems can be used, including as the complex, only as additional to ship engines.

Keywords: ship wind power, its advantages and disadvantages, technical and economic indicators, recommendations for use.

Постановка проблемы. Работа относится к сфере нетрадиционной судовой энергетики, в частности – к ветряным системам для современного транспортного флота. Их применение вызвано потребностью экономии традиционных топлив на базе нефти и газа, запасы которых постепенно уменьшаются [1]. Вторым влияющим фактором является потребность сокращения выбросов вредных веществ, в т.ч. парниковых газов, возникающих при сгорании топлив на базе нефти и газа [2].

Обзор последних исследований и публикаций. Одним из основных путей решения данной проблемы является применение альтернативной судовой энергетики, в которой широкое распространение получила ветряная, в частности – парусная [3-5]. Объясняется это тем, что до начала XX века суда в основном были парусными, а с 60-х годов XX века – проблемы экологии и экономии

топлива привели к их возрождению [5]. Однако паруса широкого применения на транспортном флоте не получили.

Другой вид ветроэнергетики связан с вращающимися электрогенераторными системами, широко применяемыми на суше. Однако на судах они практически не применяются, что требует глубокого анализа сложившейся ситуации.

Задачи исследования. Анализ проблем применения парусных и электрогенераторных ветряных систем на судах транспортного флота составляет *главную цель выполняемой работы*. Учитывая рост потребностей экономии топлива и особенно – уменьшения вредных выбросов и газов парниковой группы, данная проблема является *актуальной* и имеет *большое практическое значение*.

Научную новизну выполняемой работы составляет технико-экономическое обоснование лучших вариан-

тов ветряных систем на транспортном флоте и выработка рекомендаций по их применению и развитию.

Основной материал исследования. Результаты технического анализа современных парусных систем

В настоящее время мачтовые парусные системы применяют на 2-х основных типах судов: яхтах и круизных, закрепленных за определенным маршрутом [5]. С 1999 г. для круизной компании Star Clippers Incorporation построены 5 судов типа «Royal Clipper» [6] (рис. 1). Судно имеет 5 мачт с 42-я парусами общей площадью 6,2 тыс. м² и снабжено 2-я ДВС для безопасности и своевременной доставки пассажиров в порты назначения.

Выглядит судно очень красиво, но управлять таким количеством парусов – сложно даже в автоматическом режиме. Автоматика также существенно усложняется.

Более практичной в управлении и эксплуатации следует признать систему парусов яхты «А» (рис. 2), построенной в 2016 году в Гамбурге для российского миллиардера Мельниченко [7]. Дедвейт 12,7 тыс. т., длина 143 м, имеет 3 карбоновые мачты сложной конструкции высотой до 97 м, крейсерская скорость 29 уз, оснащена также 2-я дизелями и 2-я электродвигателями:



Рис. 1. Современное круизное парусное судно-барк «Royal Clipper» компании Star Clippers Incorporation

Источник: [6]



Рис. 2. Яхта «А» (Германия):
высота (tall) и длина (long) яхты показана в футах
в сравнении с башней часов Big Ben (Лондон), барком «Cutty Sark»,
самолетом Boeing 747 и парусником «Maltese Falcon»

Источник: [7]

Очень высокую цену яхты (≈ 400 млн. \$) нельзя считать напрасной, поскольку созданы эффективные мачты и парусные системы, а увеличение на судах их количества до 5 или 7 штук, позволяет довести их водотоннажность до 30-40 тыс. т, что удовлетворяет значительной доле транспортных перевозок.

Анализ мачтовых судовых парусных систем [8] показал, что они имеют ряд существенных недостатков, влияющих на технико-экономические показатели их эксплуатации:

1. Потребность специальных знаний, умений и навыков управления судном с парусами для командного и рядового состава и создание широкой системы их обучения, включая тренажеры и компьютерные программы для них.

2. Зависимость от изменчивой на протяжении суток и времени года скорости ветра, что не гарантирует своевременной доставки грузов, требует дублирования системы парусов машинным отделением с судовыми ДВС, обслуживающими их системами и командой.

3. Относительная ненадежность и опасность применения парусов и мачт при штормовой обстановке, что повышает страховые риски.

4. Потребность в большой парусности и в большом количестве мачт для судов большой водотоннажности, что повышает затраты на их изготовление и эксплуатацию.

5. Проблема исходной прочности для высоких тяжело нагруженных мачт и их усталостной прочности по мере старения, что требует дополнительных затрат на их обслуживание и ремонт.

6. Невозможность применения палубы для перевозки грузов, что ухудшает эффективность транспортной работы судна.

7. Кренование и снижение остойчивости судна за счет высоких мачт и центра приложения к ним силы ветра, а также качка судна при его порывах, что ухудшает условия работы судна.

8. Сложность прохода под мостами и маневрирования в узостях плавания, что ухудшает условия эксплуатации и возможности транспорт-

ной работы судна.

9. Ограничение курсовой видимости при управлении судна с кормовой рубки, что требует дополнительных затрат на системы наблюдения.

10. Увеличение численности экипажа для работы с парусами и их системами, что ведет к проблемам его размещения и содержания.

Однако в проектах «суден будущего» широко применяют усовершенствованные парусные системы. Среди их большого количества наиболее перспективными следует признать:

1) проект паромы 2025 г. «E/S ORCELLE» (рис. 3 а) Шведской фирмы Wallenius Wilhelmsen [9], в котором выполнены жесткие подъемные паруса-платформы, дополнительно оснащенные солнечными батареями;

2) проект судна 2025 г. Японской компании Eco Marine Power Co., Ltd (EMP) [10] (рис. 3 б), в котором малой высоты жесткие поворотные паруса расположены по бортам, что

позволяет проходить судну под мостами, использовать палубу для перевозки грузов и уменьшает его кренование. При этом солнечные батареи установлены не только на парусах, но и на крышках трюмов и на надстройках.

Технический анализ показал, что в проекте [9] высота парусов составляет 55 м. Это влияет на остойчивость и качку судна при порывах ветра, а эффективность их применения при изменении направления ветра снижается, что требует решения проблемы их поворота. Но при этом усложняется проблема передачи тяги корпусу судна и конструкция опор паруса. У них также нет связи с килевой балкой судна, что ведет к постоянным напряжениям сдвига мест крепления парусов относительно погруженного в воду корпуса, испытывающего встречное сопротивление воды. Общая площадь парусов $S_n = 4,2$ тыс. м², площадь солнечных батарей $S_6 \approx 3$ тыс. м² (точные данные не разглашаются).

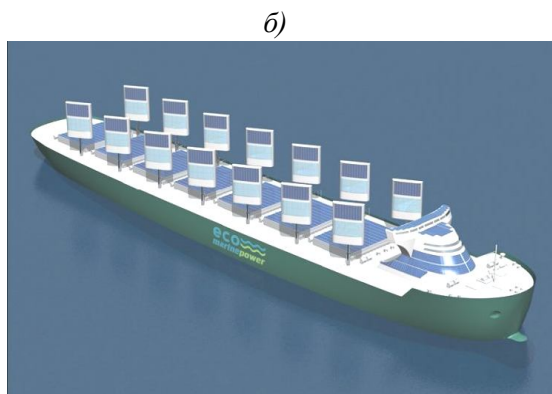
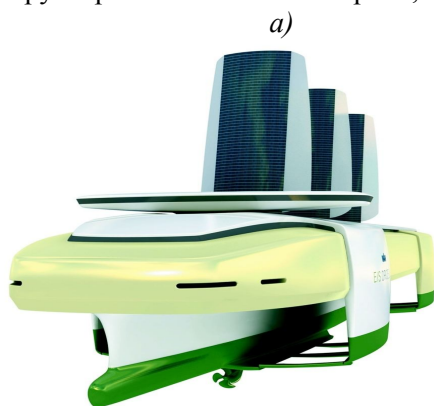


Рис. 3. Проект паромы 2025 года «E/S ORCELLE» (Швеция) с системой жестких подъемных парусов (а), проект сухогруза 2025 года «Eco marinepower» (Япония) с жесткими поворотными парусами (б)

Источник: [10]

Представленные технические решения [9; 10] наиболее широко используются в других проектах парусных судов, которые практически повторяют их, что позволяет ограничить дальнейший анализ рассмотренными выше вариантами, как базовыми.

Известна также система «Sky Sails» [11; 12] с гибким подъемным парусом типа летящего крыла или воздушного змея (Германия, 2006 г.), (рис. 4).



Рис. 4. Система «SkySails»

с гибкими подъемными парусами – воздушными змеями (Германия)

Источник: [11; 12]

Преимущества данной системы по сравнению с мачтовыми:

1. Позволяет применять палубу для перевозки грузов.
2. Уменьшает кренование судна.
3. Скорость ветра, и соответственно – тяга паруса, на высоте 200 м больше, чем у поверхности моря, где возникает трение и торможение потока воздуха об воду.
4. Более простая в изготовлении и обслуживании.
5. Не мешает видимости курса судна и встречных препятствий.
6. Более мобильная при прохождении под мостами и узостей плавания.
7. Имеет меньшую общую массу, что создает резерв для транспортной работы.

Однако за 12 лет после разработки и испытаний, система «Sky Sails» широкого применения не полу-

чила, поскольку имеет свои существенные ограничения и недостатки:

1. Тяга наиболее эффективна в узком секторе $\pm 45^\circ$ попутного к ходу судна направления ветра.
2. Требуется относительно сложной технологии и устройств для подъема, опускания и слежения за парусом.
3. Требуется присутствия 3-х членов экипажа для подъема и опускания паруса и для его укладки в бункер на баке судна, что ведет для них к дополнительным служебным обязанностям вне времени несения вахты и небезопасно при штормовой обстановке.
4. Требуется специального контроля и управления парусом сменным оператором в рубке и автоматизированными системами, с применением отдельного ПК и специальных компьютерных программ, поэтому при односменной работе хотя бы

один оператор должен быть дополнительным членом экипажа, который работает только в ветреную погоду.

5. Требуется специальной подготовки операторов высокой квалификации, которые хорошо понимают и способны предвидеть возможные эволюции паруса-змея при его запуске и спуске, что сложно реализовать на современном транспортном флоте, где экипажи меняются, почти каждые полгода.

6. Для конечной подготовки членов экипажа целесообразно применение специальных тренажеров и обучающих компьютерных программ, которые еще следует создать, что требует значительного времени и инвестиций на их разработку и обслуживание.

7. Затрудняет возможность увеличения силы тяги путем увеличения количества парусов, что усложняет управление ими за счет потребности исключения их столкновения, пересечения и перекручивания их канатов при эволюциях парусов и смене действия ветра во время движения судна, а особенно – при подъеме и спуске парусов.

8. Усложняется слежение за парусом и управление им ночью.

9. Использование системы возможно лишь в открытом море и невозможно в узостях плавания (проливах, каналах) и при заходе в порт.

10. При отклонении ветра и паруса от курса судна (что бывает во многих случаях), возникают силы бокового действия на корпус, которые требуется компенсировать поворотом пера руля, что уменьшает полезную работу движителя и эффективность действия паруса в целом [12], на рис. 4 это подтверждается

увеличением следа пены от движения судна с противоположного парусу борта.

11. Применение паруса ограничено скоростью судна в 14-20 уз., с которой чаще всего осуществляется доставка грузов, поэтому нижний порог скорости ветра 7-10 м/с.

12. Верхний порог применения паруса по скорости ветра ограничен в 17-20 м/с, при большей скорости – растет вероятность его обрыва и ухудшается общая штормовая обстановка, которую судам рекомендуется избегать.

13. Площади парусов системы «SkySails» – от 160 до 640 м², что значительно уступает парусности мачтовых систем, поэтому их применение эффективно только для судов небольшой (до 10 тыс. т.) водотоннажности.

14. Относительно высокая стоимость системы, которая по данным фирмы Zepellin [11] составляет от 0,5 до 1,1 млн. €.

Главный недостаток всех парусных систем попутного принципа действия – зависимость от направления и скорости ветра, которая в южных морях и экваториальных широтах редко превышает 5 м/с (рис. 5). Тогда при средней скорости современных транспортных судов для доставки грузов 14-20 узл., или 7-10 м/с, ветер чаще всего «не догоняет» судно, а при встречном ветре – мачты, особенно с жесткими парусами, лишь мешают его движению [13]. Развиваемая ими мощность уступает судовым ДВС, поэтому без их применения ветряные системы попутного принципа действия не гарантируют своевременной доставки грузов в порт

назначения и могут быть лишь дополняющими системами.

Наиболее целесообразно применение парусов для прогулочных яхт с гибким сроком прибытия в порты и круизных судов с привязкой маршрутов к зоне благоприятных ветров. Для судов, работающих в районе экватора,

где часто устанавливается многомесячный штиль, применение парусов любого вида в большинстве случаев бесполезно и они являются дополнительным грузом, снижающим транспортную работу судна.

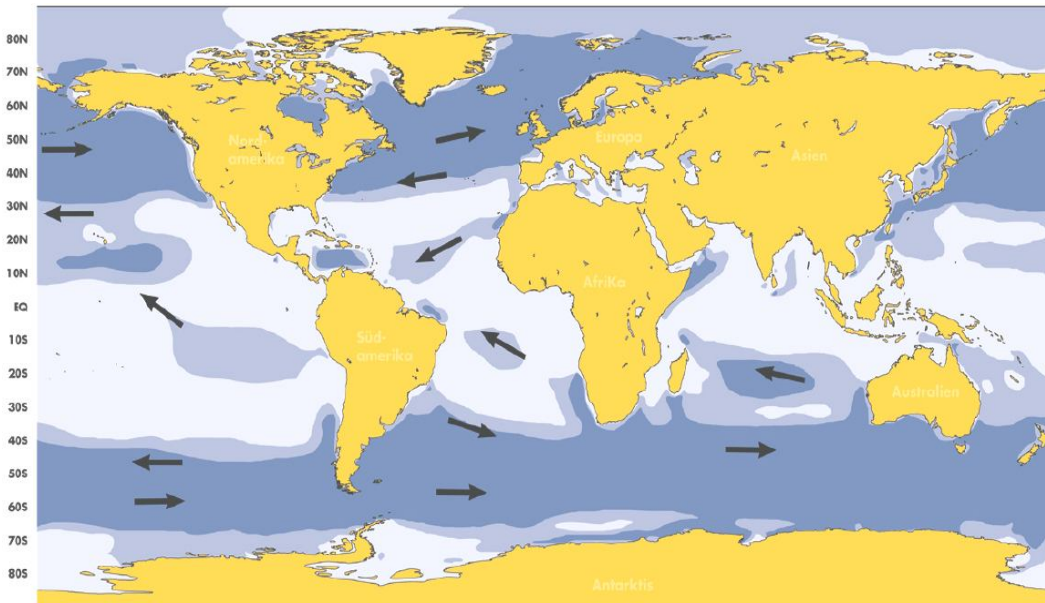


Рис. 5. Стойкие годовые ветровые потоки в мировом океане:

- сильный ветер 10-20 м/с;
- умеренный ветер 5-10 м/с;
- слабый ветер до 5 м/с

Устраняют указанный недостаток ветряные системы встречного принципа действия. Они основаны на различных типах ветряных колес (крыльчатых, с расположением оси вращения вдоль ветрового потока, роторных, с расположением оси вертикально к ветровому потоку, или барабанных, с расположением оси горизонтально к ветровому потоку). Такие системы не могут создать прямую тягу судну, поэтому преобразуют энергию ветра в электрическую, за

счет вращения валов роторов электрогенераторов. Подобные системы получили широкое распространение на суше, однако для судов их применение имеет свои особенности, поэтому нужен их дополнительный анализ.

Результаты технического анализа судовых ветряных систем встречного принципа действия.

Особенностью судовых ветряных электрогенераторных систем является то, что судно имеет собст-

венную скорость хода, совпадающую или не совпадающую с направлением действия ветра. Поэтому они могут работать даже при полном отсутствии ветра за счет собственной скорости судна 7-10 м/с. При встречном ветре до предельно допустимой по условиям безопасности скорости 20 м/с,

мощность системы существенно возрастает.

Проекты судовых ветряных колесных электрогенераторных систем были созданы в конце XX века [4], примеры которых показаны на рис. 6 и 7.

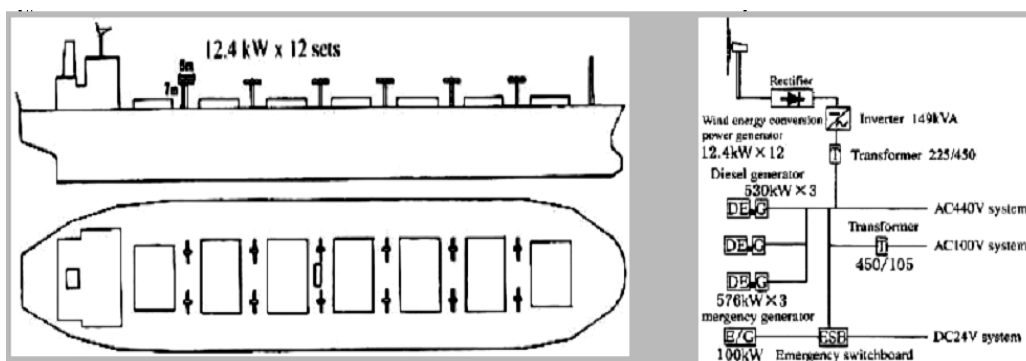


Рис. 6. Проект балкера с крыльчатыми ветряными электрогенераторами встречного принципа действия мощностью $N = 12 \times 12,4 = 148,8$ кВт (Япония)
Источник: [4]

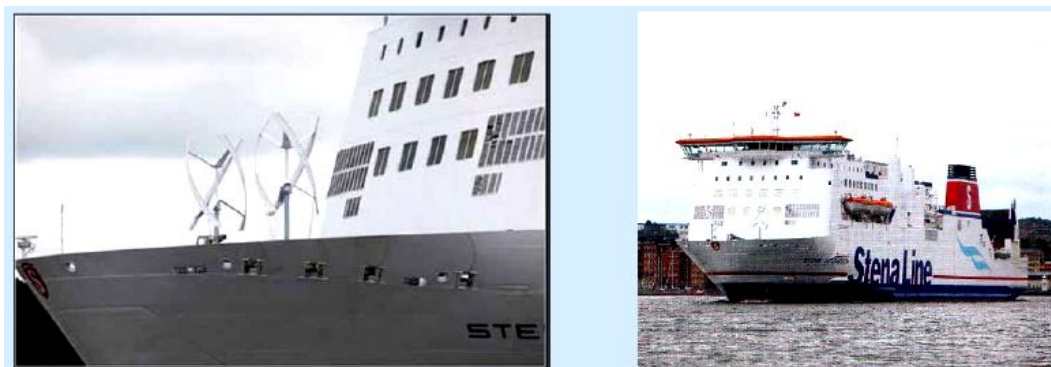


Рис. 7. Установка из 2-х роторных ветряных электрогенераторов с саблевидными лопастями мощностью $N = 2 \times 4 = 8$ кВт на пароме Stena Jutlandica (Швеция)

Источник: [4]

В известных судовых ветряных системах используют даже незначительные мощности. Однако в них не учтено, что работа ветряных колес

осуществляется за счет их сопротивления потоку воздуха, который восстанавливается после их прохождения, поэтому общее сопротивление

судна встречному потоку – возрастает.

Поскольку КПД крыльчатых систем $\approx 55\%$, поэтому на выработку 148,8 кВт в первом проекте ДВС судна затратит 298 кВт своей мощности. КПД роторных систем $\approx 25\%$, поэтому во втором проекте на выработку 8 кВт ДВС судна тратит 32 кВт своей мощности. Однако при общей мощности ДВС более 5 МВт, на судне этой потери не замечают. Таким образом, вместо ожидаемой экономии топлива известные системы встреч-

ного принципа действия ведут к увеличению его расхода.

Устраняет указанный недостаток размещение ветряных колес вплотную на лобовой поверхности надстроек судна, уже имеющих вредное сопротивление встречному потоку воздуха, до 30 % которого может быть обращено в полезную работу, что предложено в патенте Украины на изобретение №113088 [14].

Проект такой барабанной ветроэнергетической установки разработан для судна «Atlantic Bulker» дедвейтом 15 тыс. т. (рис. 8).

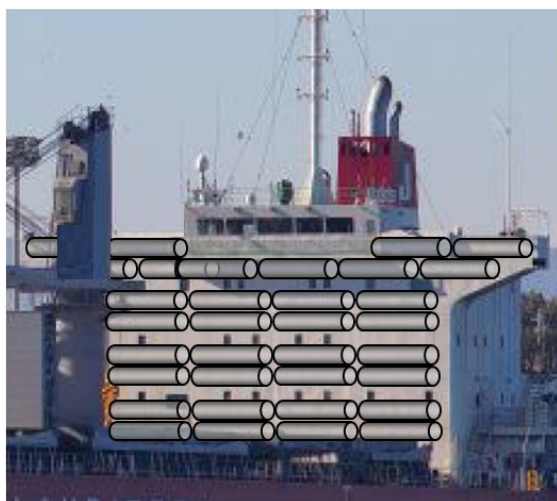


Рис. 8. Проект судовой барабанной ветряной электроэнергетической установки по патенту № 113088 проф. В.А. Настасенко (Украина)

Источник: разработано автором

Ветрогенераторы установлены на приставленных к рубке рамах, с упором их в выполненный на палубе судна фундамент, что разгружает надстройку от действия веса системы при использовании между рамой и надстройкой упругих вибропоглощающих опорных элементов. Между ра-

мой и рубкой также необходима установка звуковой изоляции.

Основными энергетическими характеристиками данной системы является скорость судна и встречного ветра, которая зависит от совпадения с курсом судна. Важной энергетической характеристикой является площадь лобовой поверхности надстроек,

на которых устанавливают ветряные колеса с электрогенераторами. Поэтому данный проект наиболее эффективен для судов с открытой надстройкой (типа танкеров, газовозов и балкеров) и надстройками в носовой части судна (паромы, пассажирские суда, буксиры и специальные суда), ряд которых показан на рис. 9.

Однако их применение возможно и на контейнеровозах, поскольку лишь 30 % времени рейса они выполняют при полной загрузке, в остальное время, по мере разгрузки, до половины надстроек открыты действию ветра, что показано на рис. 10 на примере реальных судов.

На этой базе проведем сравнительный анализ энергетических и экономических показателей попутных парусных и встречных ветряных электрогенераторных систем.

Анализ энергетических показателей современных ветряных систем.

Анализ энергетических показателей современных парусных систем выполнен по упрощенной методике работы [15] и уточняет расчеты работы [13].

Во всех исследованиях считали, что судно движется со скоростью $v_c = 14$ узлов, или 7 м/с, а в общем рабочем времени годовых переходов в 250 суток попутный ветер отсутствует в половине рейсов, а в другой половине он имеет скорость от 0 до 20 м/с, что создает на $\frac{1}{2}$ времени рейсов среднюю скорость $v_a = 10$ м/с. При этом учитывали, что КПД плоских жестких парусов составляет величину 20 %, а гибких, за счет их вогнутости – 30 %.



Рис. 9. Перспективные суда для установки ветряных систем встречного принципа действия



Рис. 10. Реальная загрузка контейнеровозов на переходах между портами

Поскольку часть информации разработчиками судов не разглашается, поэтому она принята априорно на базе накопленного опыта разработки и эксплуатации парусных систем.

Для сухогруза с парусами «Royal Clipper» площадью $S = 6$ тыс. m^2 , при КПД парусов $k = 0,3$ и плотности воздуха у поверхности моря $\rho = 105 \text{ кг/м}^3$, перемещением 1 м этого слоя создается тяга (1).

$$P_g = kg \rho S = 0,3 \times 9,8 \left(\frac{M}{c^2} \right) \times 105 \left(\frac{KZ}{M^3} \right) \times 1(M) \times 6000(M^2) = 1852 \text{ (кН)}. \quad (1)$$

$$N_c = P_g(v_c - v_g) = 1852(\text{кН}) \times [10(\text{м/с}) - 7(\text{м/с})] = 5,56 \text{ (МВт)}. \quad (2)$$

$$\Sigma N_{\text{год}} = 5,56(\text{МВт/ч}) \times 24(\text{ч/сутки}) \times \frac{1}{2} \times 250(\text{суток}) = 16680 \text{ (МВт)}. \quad (3)$$

$$P_g = kg \rho S = 0,3 \times 9,8 \left(\frac{M}{c^2} \right) \times 105 \left(\frac{KZ}{M^3} \right) \times 1(M) \times 3000(M^2) = 926 \text{ (кН)}. \quad (4)$$

Эквивалент мощности парусов при скорости попутного ветра $v_g = 10 \text{ м/с}$, составит величину (2).

Эквивалент общей годовой мощности парусов при действии среднего ветра $v_g = 10 \text{ м/с}$ на $\frac{1}{2}$ длительности переходов по 24 часа в сутки составит величину (3)

Для парусной яхты «А» с площадью парусов $S = 3$ тыс. m^2 , при КПД парусов $k = 0,3$ тяга парусов составит величину (4).

Эквивалент мощности парусов при скорости попутного ветра $v_e = 10$ м/с составит величину (5).

Эквивалент общей годовой мощности парусов при их работе 24 часа в сутки составит (6).

Для системы «SkySails» с площадью паруса $S = 0,64$ тыс. м², при заявленной фирмой Zeppelin [11] тяге паруса $P_e = 0,5 \times S$ (кН), ее величина составит (7).

Эквивалент мощности паруса при скорости попутного ветра $v_e = 10$ м/с составит величину (8).

Эквивалент общей годовой мощности парусов при эксплуатации в светлое время суток (9).

Для судна «eco marinepower» [10] с общей площадью парусов $S \approx 3,5$ тыс. м², при КПД жестких парусов $k = 0,2$, тяга составит величину (10).

Эквивалент мощности парусов при скорости попутного ветра $v_e = 10$ м/с составит величину (11).

Эквивалент общей годовой мощности парусов при их работе 24 часа в сутки составит (12).

Для судна «eco marinepower» с общей площадью солнечных батарей 8400 м² при удельной пиковой мощности 1 м² $\Delta_N = 0,175$ кВт/ч, средняя дневная мощность составит 60 % от пиковой (13).

При работе 12 часов в сутки в течение года в 365 суток, из которых $\frac{2}{3}$ солнечные, средняя годовая мощность солнечных батарей составит величину (14).

Общая годовая мощность системы составит величину (15).

$$N_c = P_e(v_c - v_e) = 926(\text{кН}) \times [10(\text{м/с}) - 7(\text{м/с})] = 2,78 \text{ (МВт)}. \quad (5)$$

$$\Sigma N_{\text{год}} = 2,78(\text{МВт/ч}) \times 24(\text{ч/сутки}) \times \frac{1}{2} \times 250(\text{суток}) = 8340 \text{ (МВт)}. \quad (6)$$

$$P_e = 0,5 \times 640 = 320 \text{ (кН)}. \quad (7)$$

$$N_c = P_e(v_c - v_e) = 320(\text{кН}) \times [10(\text{м/с}) - 7(\text{м/с})] = 0,960 \text{ (МВт)}. \quad (8)$$

$$\Sigma N_{\text{год}} = 0,960(\text{МВт/ч}) \times 24 \times \frac{1}{2} \times 250(\text{суток}) = 1440 \text{ (МВт)}. \quad (9)$$

$$P_e = kg \rho S = 0,2 \times 9,8 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right) \times 105 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) \times 1(\text{м}) \times 4200(\text{м}^2) = 864 \text{ (кН)}. \quad (10)$$

$$N_c = P_e(v_c - v_e) = 864(\text{кН}) \times [10(\text{м/с}) - 7(\text{м/с})] = 2,59 \text{ (МВт)}. \quad (11)$$

$$\Sigma N_{\text{год}} = 2,59(\text{МВт/ч}) \times 24(\text{ч/сутки}) \times \frac{1}{2} \times 250(\text{суток}) = 7770 \text{ (МВт)}. \quad (12)$$

$$\Sigma N_{\text{сб}} = 0,175(\text{кВт/м}^2) \times 8400(\text{м}^2) \times 0,6 = 0,882 \text{ (МВт)}. \quad (13)$$

$$\Sigma N_c = 0,882 \times 12 \times \frac{2}{3} \times 365 = 2575 \text{ (МВт)}. \quad (14)$$

$$\Sigma N_{\text{год}} + \Sigma N_{\text{сб}} = 7770 + 2575 = 10345 \text{ (МВт)}. \quad (15)$$

Для судна «E/S ORCELLE» [9] с общей площадью парусов $S = 4,2$ тыс. m^2 , при КПД $k = 0,3$, тяга парусов снизится до 60 % за счет невозможности их поворота за ветром и составит величину (16).

Эквивалент мощности при скорости попутного ветра $v_e = 10$ м/с составит (17).

Эквивалент общей годовой мощности парусов при их работе по 24 часа в сутки составит (18).

При площади солнечных батарей 3500 m^2 , удельной пиковой мощности 1 m^2 $\Delta_N = 0,175$ кВт/ч, и дневной мощности в 60 % от пиковой, их общая мощность составит величину (19).

Средняя годовая мощность солнечных батарей при их работе по 12 часов в сутки составит (20).

Общая годовая мощность системы составит величину (21).

Для встречных систем также считаем, что судно движется со скоростью $v_c = 14$ уз, или 7 м/с, а в общем рабочим времени годовых переходов в 250 суток встречный ветер отсутствует $\frac{1}{2}$ этого времени, а во второй

половине его скорость изменяется от 0 до 20 м/с, что обеспечивает все это время среднюю скорость $v_e = 10$ м/с.

Для судна *Atlantic Bulker* (рис. 8) ветряная электрогенераторная система встречного принципа действия состоит из 33 барабанов, у которых длина трехлопастных ветряных колес составляет $L = 4$ м, а диаметр $D = 0,75$ м. При этом активная площадь 1 лопасти составляет величину.

Выполнение вогнутых лопастей и дугового экрана повышает КПД системы до $\xi = 0,3$. При отсутствии встречного ветра и плотности воздуха $\rho = 105$ kg/m^3 мощность 1-го ветряного колеса из 3-х лопастей составит величину (23).

С учетом КПД электрогенератора и механических передач для его вращения $\eta = 0,78$, минимальная мощность 1-го модуля составит величину (24).

При общем количестве системы из 33 барабанных модулей минимальная суммарная мощность всех ветряных электрогенераторов составит величину (25).

$$P_e = kg\rho S = 0,3 \times 9,8 \left(\frac{M}{c^2} \right) \times 105 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 1(m) \times 4200(m^2) \times 0,6 = 778 \text{ (кН)}. \quad (16)$$

$$N_c = P_e(v_c - v_e) = 778(kH) \times [10(m/c) - 7(m/c)] = 2,33 \text{ (МВт)}. \quad (17)$$

$$\Sigma N_{год} = 2,33(MBm / ч) \times 24(ч / сутки) \times \frac{1}{2} \times 250(суток) = 6990 \text{ (МВт)}. \quad (18)$$

$$\Sigma N_{сб} = 0,175(kBm / m^2) \times 3500(m^2) \times 0,6 = 367 \text{ (кВт)}. \quad (19)$$

$$\Sigma N_c = 0,367 \times 12 \times \frac{2}{3} \times 365 = 1073 \text{ (МВт)}. \quad (20)$$

$$\Sigma N_{год} + \Sigma N_{сб} = 6990 + 1073 = 8063 \text{ (МВт)}. \quad (21)$$

$$F = 0,5DL = 0,5 \times 0,75(m) \times 4(m) = 1,5 \text{ (м}^2\text{)}. \quad (22)$$

$$N_e = 3\xi_x F \rho \left(\frac{1}{3} v_1 \right)^3 = 3 \times 0,3 \times 1,5(m^2) \times 105(kg / m^3) \times \left[\frac{1}{3} \times 7 \left(\frac{M}{c} \right) \right]^3 = 1,8(kBm). \quad (23)$$

$$N_{min} = \eta N_e = 0,78 \times 1,8 \text{ (кВт)} = 1,4 \text{ (кВт)}. \quad (24)$$

$$\Sigma N_{min} = 1,4 \times 33 = 46,2 \text{ (кВт)}. \quad (25)$$

Эта минимальная мощность почти в 6 раз больше мощности парома Stena Jutlandica (рис. 7) и она дает реальную экономию топлива. Данной энергии достаточно для освещения судна и работы ряда его бытовых приборов.

При средней скорости в рейсе встречного ветра $v_{cp} = 10$ м/с и суммарной скорости судна и ветряного потока (7 + 10) м/с, средняя мощность 1-го ветряного колеса из 3-х лопастей составит (26).

С учетом КПД системы $\eta = 0,78$, средняя суммарная мощность всех 33-х ветряных электрогенераторов составит величину (27).

Этой мощности достаточно для замены 1-го дизельгенератора судна. При росте средней скорости ветра до 20 м/с мощность 1 модуля возрастет до 103 кВт, а при скорости ветра более 20 м/с ветряные колеса следует притормаживать для исключения их поломки. Поэтому с учетом КПД системы 0,78, можно ограничиться максимальной мощностью 1-го электрогенератора в 100 кВт.

Общая годовая мощность системы при действии среднего ветра $v_e = 10$ м/с на $\frac{1}{2}$ времени переходов по 24 часа в сутки, а на протяжении $\frac{1}{2}$ времени переходов – только за счет скорости судна, составит величину (28).

Следует также учесть, что действие данных ветряных электрогенераторов возможно также во время стоянки судна на рейде при любом ветре, что позволяет увеличить суммарную мощность на $\approx 10\%$, которая составит (29).

При площади покрывающих защитные экраны солнечных батарей 50 м^2 , их удельной мощности $0,175 \text{ кВт/м}^2$ и средней мощности в 0,6 от пиковой, их суммарная мощность составит величину (30).

Годовая мощность солнечных батарей, работающих по 12 часов в сутки при $\frac{2}{3}$ солнечных дней в году составит величину (31).

Общая годовая мощность комбинированной системы составит величину (32).

$$N_c = 3 \xi_x F \rho \left[\frac{1}{3} (v_1 + v_e) \right]^3 = \quad (26)$$

$$3 \times 0,3 \times 1,5 (\text{м}^2) \times 105 (\text{кг} / \text{м}^3) \times \left[\frac{1}{3} \times (7 + 10) \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right]^3 = 25,8 (\text{кВт}).$$

$$\Sigma N_{cp} = 0,78 \times 33 \times 25,8 = 664 (\text{кВт}). \quad (27)$$

$$\Sigma N_{год} = 0,664 (\text{МВт} / \text{ч}) \times 24 (\text{ч} / \text{сутки}) \times \frac{1}{2} \times 250 (\text{суток}) + \quad (28)$$

$$0,046 (\text{МВт} / \text{ч}) \times 24 (\text{ч} / \text{сутки}) \times \frac{1}{2} \times 250 (\text{суток}) = 2130 (\text{МВт}).$$

$$\Sigma N_{год} = 1,1 \times 2130 = 2343 (\text{МВт}). \quad (29)$$

$$\Sigma N_{cb} = 0,175 (\text{кВт} / \text{м}^2) \times 50 (\text{м}^2) \times 0,6 = 5,25 (\text{кВт}). \quad (30)$$

$$\Sigma N_c = 0,005 \times 12 \times \frac{2}{3} \times 365 = 11 (\text{МВт}). \quad (31)$$

$$\Sigma N_{год} + \Sigma N_{cb} = 2343 + 11 = 2354 (\text{МВт}). \quad (32)$$

Таким образом, мощность предлагаемой ветряной системы встречного принципа действия превышает мощность парусов «SkySails» (9) и имеет более широкие возможности для применения.

Анализ экономических показателей современных ветряных систем. Экономический анализ уточнен по сравнению с работой [13]. Его основа – сравнение затрат и доходов от применения основных видов парусных систем. Во всех случаях сравнивали затраты на их изготовление и обслуживание с доходами от экономии топлива для ДВС, требуемой для выработки такой же годовой мощности, которая эквивалентна мощности, созданной ветряными системами.

В расчетах принят удельный расход топлива на выработку 1 кВт мощности главного ДВС $q = 0,175$ (кг/(кВт·ч)), а также 2 вида топлив – дизельное стоимостью C_m около 450 \$ за 1 т и тяжелое стоимостью около 300 \$ за 1 т, при этом соотношение расхода Q тяжелого топлива

по теплоте сгорания к дизельному, принято увеличенным в 1,1 раза, поскольку его теплотворная способность ниже. Таким образом, экономия расхода топлива ΔQ может быть определена по зависимости (33).

Доходность D данных проектов может быть определена по зависимости (34).

Следует учесть, что точные данные по затратам имеются лишь для системы «SkySails» [11]: стоимость паруса площадью 640 м² составляет 1,2 млн. \$, а затраты на его обслуживание 48 тыс. \$ в год. Для других парусных систем приняты укрупненные показатели в зависимости от их сложности: стоимость 1-5 %, от стоимости C_c суден, а 5-10 % от стоимости систем – затраты на их содержание.

Прибыль с вычетом из нее подоходного налога (18 % для Украины) составит величину (35).

Главным экономическим показателем принят срок окупаемости проектов T (36).

$$\Delta Q \approx q Q \Sigma N_{год} (\$) \quad (33)$$

$$D \approx \Delta Q C_m (\$) \quad (34)$$

$$П \approx (1 - 0,18) \times [D - C_c \times (0,01 \dots 0,05 + 0,01 \dots 0,05 \times 0,1 \dots 0,05)] (\$). \quad (35)$$

$$T = \frac{C_c \times (0,01 \dots 0,05 + 0,01 \dots 0,05 \times 0,1 \dots 0,05)}{П} (\text{годы}). \quad (36)$$

Для предлагаемой ветряной энергетической установки выполнен экономический расчет на базе исходных данных Херсонского судоремонтного завода. Он имеет уровень оценочного и потребует уточнения по мере накопления реальных данных. В расчетах достаточно определить дополнительные инвестиции I_0 на внедрение новой системы и величины

изменения эксплуатационных затрат судна, на которые будут влиять предложенные нововведения, сохранив неизменными остальные параметры.

Главными исходными данными для выполнения расчетов экономической эффективности ветряных электрогенераторных систем являются:

1) удельная затрата топлива на выработку 1 кВт электроэнергии электрогенераторами судна $q_n = 0,200$ кг/(кВт·ч);

2) стоимость 1 т топлива: тяжелого $Z_{n \tau} = 300$ \$, дизельного $Z_{n д} = 450$ \$;

3) средняя годовая мощность предлагаемой энергетической системы $\sum N_e = 2354$ МВт;

4) количество ветряных энергетических модулей $n_e = 33$ стоимостью по 2 тыс. \$.

Техническое внедрение предлагаемых ветряных электроэнергетических систем с солнечными батареями не нуждается в специальном времени для их установки на судне, поскольку может быть выполнено во время проведения среднего ремонта, поэтому не требует вывода судна из транспортной работы, что не отразится на прибылях судовладельца от выполнения перевозок.

Затраты на изготовление систем будут зависеть от государства и предприятия, на котором они будут выполнены работы, поскольку их расценки различны. Для производителей в Украине срок проектирования и производства – от 6 до 12 месяцев. Изготовление системы рамной конструкции из 2-х секций выполняется в заводских условиях, а затем в собранном виде они доставляются к судну, где выполняется только их установка и подсоединение к электрической сети судна.

Расчет инвестиций на установку систем на судне выполнен на

$$\sum \Delta Q_{pcд} = q_n \cdot \sum N_{cp} = 0,200 \times 2354 = 471 \text{ (т)}. \quad (37)$$

$$\sum \Delta Q_{pcд} = 1,05 q_n \cdot \sum N_{cp} = 1,05 \times 0,200 \times 2354 = 518 \text{ (т)}. \quad (38)$$

базе данных производителя с учетом трудоемкости и перечня работ, затрат рабочего времени и денежных затрат на их выполнение из расчета себестоимости 1-го нормо-часа = 50 \$. Планируется, что работы на судне выполняет бригада из 4-х человек, срок работ с подготовкой фундаментов на палубе, крепежных элементов на надстройке, подключением и испытанием системы – составляет до 5 рабочих дней.

Суммарные инвестиции на изготовление и установку системы в условиях Херсонского судоремонтного завода составляют $\sum I_{зв} = 1$ млн. (\$). Предполагается, что данные энергетические системы будут эксплуатироваться вместе с судном 20 лет.

Расчет эксплуатационных затрат на ветряную электроэнергетическую систему состоит из годовых затрат на топливо и затрат на обслуживание.

Затраты на топливо. Предложенные ветряные электрогенераторы и солнечные батареи обеспечивают дополнительную среднегодовую выработку электроэнергии 2354 МВт. На величину этой электрической энергии может быть уменьшена нагрузка электрогенератора и расход топлива для его двигателя, который при удельных затратах топлива $q_n = 0,200$ кг/кВт составит (37).

Для тяжелого топлива, энергетическая эффективность которого на 10 % ниже дизельного, расход топлива составит величину (38).

Уменьшение затрат на топливо для электрогенератора, при использовании им дизельного топлива стоимостью 450 \$/т, или тяжелого топлива стоимостью 300 \$/т, составит величины (39), (40).

Данный показатель может быть значительно выше, за счет действия встречного ветра со средней скоростью 10 м/с больше времени, чем $\frac{1}{2}$ периода годовых переходов.

Годовые затраты на ремонт и обслуживание системы. Поскольку система достаточно сложная, принимаем их по укрупненным нормативам в 5 % от инвестиций $\sum I_{3\epsilon}$ (41).

Остальные затраты на эксплуатацию системы и судна остаются неизменными, поэму не учитываются.

Окончательные технико-экономические показатели проекта включают расчет прибыли и срока окупаемости.

Годовая балансовая прибыль уменьшится на величину затрат на обслуживание и ремонт и будет составлять величину P_6 (42), (43).

Годовая прибыль с отчислением 18% налога на прибыль (Украина) составит (44), (45).

Ежегодные отчисления 10 % патентовладельцу за изобретение составляют (46), (47).

Чистая годовая прибыль судовладельца составляет (48), (49).

При этом срок окупаемости проекта составит величины (50), (51).

$$\Delta Z_{nd} = Z_{nd} \sum \Delta Q_p = 450 (\$/\text{т}) \times 471 (\text{т}) = 211950 (\$) \quad (39)$$

$$\Delta Z_{nm} = Z_{nd} \sum \Delta Q_p = 300 (\$/\text{т}) \times 518 (\text{т}) = 155400 (\$). \quad (40)$$

$$Z_{ob} = 0,1 \sum I_{3\epsilon} = 0,05 \times 1000000 = 50000 (\$). \quad (41)$$

$$P_{6d} = \Delta Z_n - Z_{ob} = 211950 - 50000 = 161950 (\$), \quad (42)$$

$$P_{6d} = \Delta Z_n - Z_{ob} = 155400 - 50000 = 105400 (\$). \quad (43)$$

$$P_{nc} = (1 - 0,18) P_{62} = 0,82 \times 161950 = 132799 (\$), \quad (44)$$

$$P_{nc} = (1 - 0,18) P_{62} = 0,82 \times 98500 = 86426 (\$). \quad (45)$$

$$O_{n1} = 0,2 P_{nc} = 0,1 \times 132799 = 13280 (\$), \quad (46)$$

$$O_{n2} = 0,2 P_{nc} = 0,1 \times 86426 = 8643 (\$). \quad (47)$$

$$P_{nc} = 132799 - 13280 = 119519 (\$), \quad (48)$$

$$P_{nc} = 86426 - 8643 = 77785 (\$). \quad (49)$$

$$T_{ок} = \frac{\sum I_{3\epsilon}}{P_{nc}} = \frac{1000000}{119519} = 8,4 (\text{года}), \quad (50)$$

$$T_{ок} = \frac{\sum I_{3\epsilon}}{P_{nc}} = \frac{1000000}{77785} = 12,9 (\text{года}). \quad (51)$$

Аналогично расчетам (38)-(52) рассчитывается экономия расхода топлива для парусных систем, при удельном расходе ДВС $q = 0,175$ (кг/(кВт·ч)) и укрупненных показателях, в соотношении 0,01-0,05 от стоимости судна – инвестиции на изготовление и установку системы в зависимости от ее сложности и 0,03-0,05 от стоимости этой системы – затраты на ее эксплуатацию.

Результаты расчетов технико-экономических показателей всех рассмотренных систем сведены в таблицу.

По сравнению с парусными системами, создающими только тягу судна, которая прекращается на стоянке судна на рейде и в порту, важным преимуществом электрогенераторных ветряных систем является выработка электроэнергии, которая универсальна для применения в различных судовых системах. Она также может накапливаться в аккумуляторах для отдачи ее в безветренную погоду.

Учитывая, что на преодоление сопротивления встречному потоку воздуха надстроек судна расходуется до 10 % мощности его ДВС, то при КПД системы ≈ 30 % возможна экономия до 3 % топлива и уменьшение на 3 % выбросов CO_2 в атмосферу. Для пассажирских судов, крытых паромов и газозовов, имеющих большую лобовую поверхность надстроек судна (рис. 9), эти показатели достигают 5-6 %. Однако без захода в 40-е широты эффективность всех ветряных систем снижается.

Экономический анализ показывает (табл.), что для судов транспортного флота, которые развивают собственную скорость 14 уз. и рабо-

тают в любых районах мирового океана, окупаемость ветряных систем превышает 5 лет, что делает их непривлекательными для судовладельцев. Поэтому для них необходимы дотации на государственном и межгосударственном уровне, в т.ч. выплаты за уменьшение выбросов газов парниковой группы. Экономическая эффективность систем повышается при уменьшении их цены и сложности.

Наименьшие сроки окупаемости имеют электрогенераторные системы встречного принципа действия и системы парусов «*Royal Clipper*». Однако технически более целесообразны парусные системы яхты «А» и судна «*eco marinepower*» с солнечными батареями. Рекомендуется их использование в комплексе с ветряными электрогенераторными системами.

Выводы. Заключение, выводы и рекомендации, обоснованные для парусных систем:


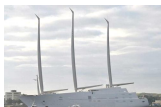

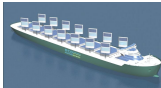
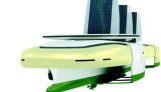

1. Парусные системы на судах транспортного флота могут создавать эквивалент мощности от 3 до 5 МВт на 1 мачту, однако их среднегодовая эффективность зависит от розы ветров, поэтому рекомендуется для эксплуатации в средних широтах и не рекомендуется в экваториальной зоне.

2. Предпочтительное применение – для судов малой и средней водотоннажности, имеющих мощность ходовых ДВС до 30 МВт.

3. Наиболее эффективными признаны мачтовые боковые парусные системы для судна «*eco marinepower*», которые могут быть рекомендованы для внедрения и дальнейшего развития.

Таблица

Соотношение затрат и сроков окупаемости ветряных систем
для дизельного (d) и тяжелого (t) топлива

Вариант	Эквивалент мощности (МВт)	Годовая мощность (МВт)	Затраты на систему (млн. \$)	Экономия топлива ΔQ (т)	Стоимость т топлива (\$/т)	Ожидаемая прибыль (млн. \$)	Срок окупаемости T (годы)
	5,56	16680	150×0,05 = 7,5. 5 % обслужив.	2919 (д)	450	0,939	8,0*
				3211 (т)	300	0,588	12,87*
	2,78	8340	400×0,02 = 8,0. 1 % обслужив.	1460 (д)	450	0,577	13*,8
				1606 (т)	300	0,402	16,6*
	0,960	1440	1,2. 48 \$ в год на обслуживание	252 (д)	450	0,066	18,2**
				277 (т)	300	0,035	34,2**
	2,59 (паруса)	7770	150×0,05 = 7,5. 5 % обслужив.	1875 (д)	450	0,469	16,0
	0,73 (батареи)	2575		2065 (т)	300	0,244	30,8
	2,33 (паруса)	6990	200×0,03 = 6,0. 3 % обслужив.	1434 (д)	450	0,479	12,5
	0,37 (батареи)	1073		1577 (т)	300	0,293	20,5
	0,66 (колеса)	2343	1,0 5 % обслужив.	471 (т)	450	0,120	8,4
	0,01 (батареи)	11		518 (т)	300	0,078	12,8

* Экономические показатели приведены для судна, идущего со скоростью 14 узлов за счет ДВС, для яхты, не использующей ДВС, этот показатель улучшается в 2 раза.
** Данные показатели ниже представленных фирмой Zepplin, поскольку испытываемые ими суда имели собственную скорость 10-11 узлов и эксплуатировались при скорости ветра > 10 м/с, а стоимость топлива составляла 550 \$/т.

Источник: разработано автором

4. Наиболее эффективными признаны мачтовые боковые парусные системы для судна «eco marinepower», которые могут быть рекомендованы для внедрения и дальнейшего развития.

5. Применение парусных систем типа «SkySails» целесообразно для малотоннажных судов.

6. Для всех парусных систем необходимо увеличение численности экипажа и специальное обучение

рядового и командного состава с развитием соответствующей инфраструктуры.

7. Ветряные электрогенераторные ветряные системы встречного принципа действия по патенту на изобретение Украины № 113088 имеют преимущества по сравнению с известными парусными системами, поскольку меньше зависят от направления и скорости действия ветра.

8. Выработываемая электрогенераторными ветряными системами электроэнергия является универсальной в применении и позволяет экономить на судах до 3 % топлива в год.

9. Стоимость предлагаемой электрогенераторной ветряной системы, сложность изготовления и обслуживания, а также сроки ее окупаемости – меньше, чем у известных парусных систем, что обеспечивает ей преимущества при внедрении.

10. Отказ от ветряных систем является расточительством, поэтому рекомендуется объединение систем попутного и встречного принципа действия.

11. При ценах на топливо в 450 \$ за 1 т проекты ветряных систем сводятся к дотационным, что чревато отсутствием прогресса в их создании и внедрении.

12. При росте цен на топливо и снижении себестоимости предлагаемых судовых ветряных систем, они будут экономически привлекательными для судовладельцев и частного капитала.

13. Для развития судовой ветряной энергетики следует создать дотационные фонды на уровне крупных судовладельцев и государств, а также международных организаций, в рамках рекомендаций международного саммита COP-21 [16] по проблемам климата.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кемпбел К. Грядущий нефтяной кризис. М.: Группа независимых издателей, 1997. 210 с.
2. Подсчет запасов нефти, газа, конденсата и содержащихся в них компонентов: Справочник / И.Д. Амелин, В.А. Бадьянов, Б.Ю. Вендельштейн. М.: Колос, 2004. 270 с.
3. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження на судах: навчальний посібник / В.С. Самохвалов, Д.В. Коновалов, М.Ю. Багненко та ін. /за заг. ред. В.С. Самохвалова. Миколаїв: Іліон, 2016. 430 с.
4. Шурляк В.К. Применение альтернативных видов энергии и альтернативных топлив на морских судах // СПГ как альтернативное топливо для морских судов: материалы Всероссийского Семинара. СПб: ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2012. 24 с. – URL: www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/3.pdf
5. Перестюк И. Н. Паруса атомного века // Катера и яхты. 1983. № 1. С. 22-27.
6. Современные парусники Royal Clipper. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=YDB8nc3tW5M>
7. Как выглядит самая большая парусная яхта в мире. – URL: http://www.fresher.ru/2015/09/24/kak_vyglyadit_samaya_bolshaya_parusnaya_yaxta_v_mire
8. Настасенко В. О. Сучасна суднова вітрова енергетика і особливості охорони праці та безпека її експлуатації // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. Херсон: Видавництво ХДМА, 2013. № 1 (8). С. 119-130.

9. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=wAIAC4vU4IM>
10. Официальный сайт Eco Marine Power. – URL: <http://www.ecomarine-power.com/en/energysail>
11. Zeppelin SkySails, Sales and Service. Germany, Hamburg: 2007. 32 p.
12. Шостак В.П. Полезная тяга судового пропульсивного кайта / В.П. Шостак, А.И. Кисарова // 36. науч. праць НУК. Кораблебудування. – 2016. № 4. – С. 4-9.
13. Настасенко В. А. Судовая альтернативная энергетика и реалии ее применения в современных условиях // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Warszawa Polska), 2016. № 3 (7). С. 36-47.
14. Пат. 113088 Україна, МПК F 03D 1/02 Спосіб установки на судні системи вітрових генераторів барабанного типу / В.О. Настасенко; заяв. и патентовласник Настасенко В.О. – № 201412388; заявл. 18.11.2014; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23. – 32 с.
15. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (курс лекций). СПб.: Изд-во СПб. ун-та. Кафедра теплоэнергетических систем, 2004. 343 с.
16. COP-21. Парижский Всемирный Саммит 2015 года (COP 2015) по проблемам климата. – URL: www.un.org/sustainabledevelopment/ru.cop21

REFERENCES

1. Kempbel, K. (1997). Gryadushchiy neftyanoy krizis. M.: Gruppy nezavisimyykh izdateley [Independent Publishers Group], 210 [in Russian].
2. Amelin, I.D, Bad'yanov, V.A. & Vendel'shteyn, B.Yu. (2004). Podschet zapasov nefti, gaza, kondensata i soderzhashchikhsya v nikh komponentov: Spravochnik [Calculation of reserves of oil, gas, condensate and the components contained in them: a Handbook]. M.: Kolos, 270 [in Russian].
3. Samokhvalov V.S., Konovalov D.V. & Bagnenko M.Yu. (2016). Vtorinni yenergetichni resursi ta yenergozberezhennya na sudnakh [Secondary energy resources and energy saving on ships]. Mikolaiv: Ilion [Ilion], 430 [in Ukrainian].
4. Shurlyak, V.K. (2012). Primeneniye al'ternativnykh vidov energii i al'ternativnykh topliv na morskikh sudakh [The use of alternative energy and alternative fuels on ships]. SPG kak al'ternativnoye toplivo dlya morskikh sudov – LNG as an alternative fuel for ships, 24. Retrieved from www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/3.pdf [in Russian].
5. Perestyuk, I. N. (1983). Parusa atomnogo veka [Atomic Age Sails]. Katera i yakhty – Boats and yachts. № 1, 22-27 [in Russian].
6. Sovremennyye parusniki Royal Clipper [Modern sailboats Royal Clipper]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=YDB8nc3tWSM>

7. *Kak vyglyadit samaya bolshaya parusnaya yaxta v mire [What is the largest sailing yacht in the world]. Retrieved from http://www.fresher.ru/2015/09/24/kak_vyglyadit_samaya_bolshaya_parusnaya_yaxta_v_mire*
8. *Nastasenko, V.O. (2013). Suchasna sudnova vtrova yenergetika i osoblivosti okhoroni pratsi ta bezpeka її yekspluatatsії [Modern ship wind power engineering and features of labor protection and safety of its exploitation]. Naukoviy visnik KHDMA – Science Bulletin KhDMA: scientific journal. Kherson: Vidavnistvo KHDMA, № 1 (8), 119–130 [in Ukrainian].*
9. *[Electronic resource] – Rezhim dostupa: [https://www.youtube.com/watch.v=wAIAC4vU4IM](https://www.youtube.com/watch?v=wAIAC4vU4IM)*
10. *[Official site Eco Marine Power. Retrieved from <http://www.ecomarine-power.com/en/energysail>*
11. *Zeppelin SkySails, Sales and Servise. – Germany, Hamburg: 2007 – 32 p.*
12. *Shostak V.P. & Kisarova A.I. (2016). Poleznaya tyaga sudovogo propul'sivnogo kayta [Useful prop ship propulsion kite]. Zbirnik naukovikh prats' NUK. Korablebuduvannya – Science Bulletin NUK. Shipbuilding, № 4, 4-9 [in Russian].*
13. *Nastasenko, V.A. (2016). Sudovaya al'ternativnaya energetika i realii yeye primeneniya v sovremennykh usloviyakh [Ship alternative energy and the realities of its use in modern conditions]. East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Warszawa Polska), № 3 (7), 36-47. [in Russian].*
14. *Pat. 113088 Ukraïna, MPK F 03D 1/02 Sposoby ustanovki na sudne sistemi vitrovikh generatorov barabannogo tipu [Equipment installation on ship systems of third-party drum-type oscill] / V.O. Nastasenko; zayav. i patentovlasnik Nastasenko V.O. - № 201412388; zayavl. 18.11.2014; opubl. 12.12.2016, Byul. № 23. - 32 s.*
15. *Ageyev, V.A. (2004). Netraditsionnyye i vozobnovlyayemyye istochniki energii [Unconventional and renewable energy sources]. SPb.: Izd-vo SPb. un-ta. Kafedra teploenergeticheskikh system [Publishing House of St. Petersburg. un-that. Department of Heat and Power Systems], 343 [in Russian].*
16. *SOR-21. Parizhskiy Vsemirnyy Sammit 2015 goda (SOR 2015) po problemam klimata. Retrieved from www.un.org/sustainabledevelopment.ru.cop21.*

Стаття надійшла до редакції 26.11.2018

Посилання на статтю: Настасенко В.А. Сравнительный технико-экономический анализ эксплуатации судовых парусных и ветряных электрогенераторных систем // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць, 2018. № 4. С. 73-96. DOI: 10.31375/2226-1915-2018-4-73-96.

Reference a JournalArtic: Nastasenko V.A. (2018). Technical and economic comparative analysis of exploitation the sail and wind electric generator systems of the ship. Development of management and entrepreneurship methods on transport, 73-96. DOI: 10.31375/2226-1915-2018-4-73-96.