

УДК 621.472

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУДОВОЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ РАЗВИТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**Настасенко В. А., к.т.н., доцент, профессор кафедры транспортных технологий Херсонской государственной морской академии, e-mail: Nastasenko2004@front.ru**

*В работе проведен анализ основных вредных выбросов при сжигании в судовых ДВС традиционных топлив на базе нефти и газа. Показано, что их уменьшение возможно при переходе на водородное топливо и при замене топлива альтернативной энергетикой, среди которой для транспортных судов используют потупные парусные и встречные барабанные ветряные энергетические системы, солнечные фотоэлектрические, и гидроволновые системы. Однако внедрение судовой альтернативной энергетикой при стоимости судового топлива <450 € становится дотационным и непривлекательным для частного капитала, что сдерживает возможности ее развития, поэтому требуется пересмотр ценовой политики в сфере топлив на базе нефти и газа.*

**Ключевые слова:** судовая ветряная, солнечная и гидроволновая энергетика.

**Введение. Связь проблемы с общими направлениями научных исследований.**

Работа относится к сфере альтернативной энергетикой на транспортном флоте и технико-экономическим проблемам ее развития и применения.

**Анализ состояния проблемы, постановка цели и задач работы.** Известно [1], что суда транспортного флота потребляют в год 600...650 млн. т. топлива на базе нефти, что составляет около 7...8 % ее годовой мировой добычи, которые безвозвратно теряются. Поскольку запасы нефти непрерывно уменьшаются и могут быть исчерпаны в текущем столетии [2], эта перспектива составляет потенциальную угрозу для всего человечества.

Другой потенциальной угрозой является выделение при сжигании традиционного топлива до 2300 млн. т., или 8 % от общего объема, выбросов газов парниковой группы [1] – оксида углерода СО и диоксида углерода СО<sub>2</sub>, которые ведут к усилению парникового эффекта, также опасного для всего человечества. Переход на очищенное топливо уменьшит лишь выбросы вредных веществ, но не уменьшит выбросы СО<sub>2</sub> (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительные количественные показатели вредных выбросов при сжигании традиционных судовых топлив [3]

Тип топлива	Количество вредных выбросов, г/(кВт·ч) (по данным MARINTEC)			
	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	Твердые частицы
Мазут (3,5 % масс. соединений серы)	13	9 – 12	580 – 630	1,5
Морское дизельное топливо (0,5 % масс. соединений серы)	2	8 – 11	580 – 630	0,25 – 0,5
Очищенное дизельное топливо (0,1 % масс. соединений серы)	0,4	8 – 11	580 – 630	0,15 – 0,25
Природный газ (сжатый или сжиженный)	0	2	430 – 480	0

Замена топлив на базе нефти – природным газом отодвигает сроки его исчерпания на 20...40 лет. Однако газ уменьшает лишь объемы вредных выбросов (табл. 1), а по СО<sub>2</sub>, с учетом более низкой его калорийности и потребности увеличения расхода на достижение одинаковой мощности судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – реального уменьшения выбросов СО<sub>2</sub> не достигается, что не решает проблемы парникового эффекта. В условиях развития транспортного флота он является одним из растущих источников выбросов вредных веществ и газов парниковой группы в атмосферу Земли.

Таким образом, проблема уменьшения выбросов CO и CO<sub>2</sub> является важной и актуальной задачей, решению которой был посвящен Парижский Саммит 2015 года [4].

На транспортном флоте ее решение возможно двумя путями: 1) переходом на иные виды топлив, из которых наиболее эффективен водород H<sub>2</sub>, поскольку при его сжигании образуется экологически чистый продукт – вода [5]; 2) экономией расхода топлива [3].

*Экономия расхода топлива для судов осуществляется различными путями, в т.ч.:*

1. Уменьшением мощности судовых потребителей энергии.
2. Увеличением эффективности ДВС и пропульсивной установки.
3. Прямой экономией расхода топлива при использовании топливных смесей: нефте-водных, нефте-газовых, водно-угольных и др.
4. Использованием нетрадиционной энергетики.

Все эти пути развиваются в настоящее время, однако возможности первых 3-х – близки к техническому пределу, поэтому более перспективен 4-й путь, что подтверждают проекты экологически чистых судов будущего, примеры которых приведены в работах [6–8]. В данной работе также основное внимание уделено 4-му пути, в частности:

- 1) ветряной энергетике;
- 2) солнечной энергетике;
- 3) гидроволновой энергетике.

Определение технико-экономических показателей и особенностей применения на судах систем альтернативной энергетики является *главной целью выполняемой работы*.

*Научную новизну выполняемой работы* составляет технико-экономический анализ наиболее эффективных условий применения альтернативной энергетики на транспортном флоте и разработка на их базе рекомендаций по ее развитию.

#### **Основные виды судовых ветряных систем и их технико-экономический анализ.**

Среди основных видов судовых альтернативных энергетических систем на транспортном флоте, в первую очередь, развиваются ветряные и солнечные. Объясняется это тем, что на суше они получили широкое распространение и накоплен большой опыт их изготовления и эксплуатации. Однако автоматический перенос их на суда транспортного флота ведет к комплексу проблем, поскольку конструкции судов и условия их эксплуатации имеют свои отличительные особенности, основными из которых являются:

1. Потребность перевозки грузов на палубе.
2. Потребность своевременной доставки грузов.
3. Большие мощности основных судовых энергетических установок.
4. Отсутствие места для размещения нетрадиционных энергетических систем.
5. Работа в условиях сильного ветра, качки судна, воздействия волн, атмосферных осадков и агрессивных испарений морской воды.

Учитывая, что в недалеком прошлом суда в основном были парусными, основным видом применяемых ветряных систем в проектах судов будущего стали мачтовые и гибкие системы парусов *попутного принципа действия*.

Большой шаг в создании мачтовых парусных систем сделан в яхте «А» (рис. 1) [9]. Ее дедвейт 14,6 тыс. т., она имеет 3 карбоновые мачты, достигающие высоты 97 м, которые представляют собой высокоэффективную систему для эксплуатации и на других судах транспортного флота.

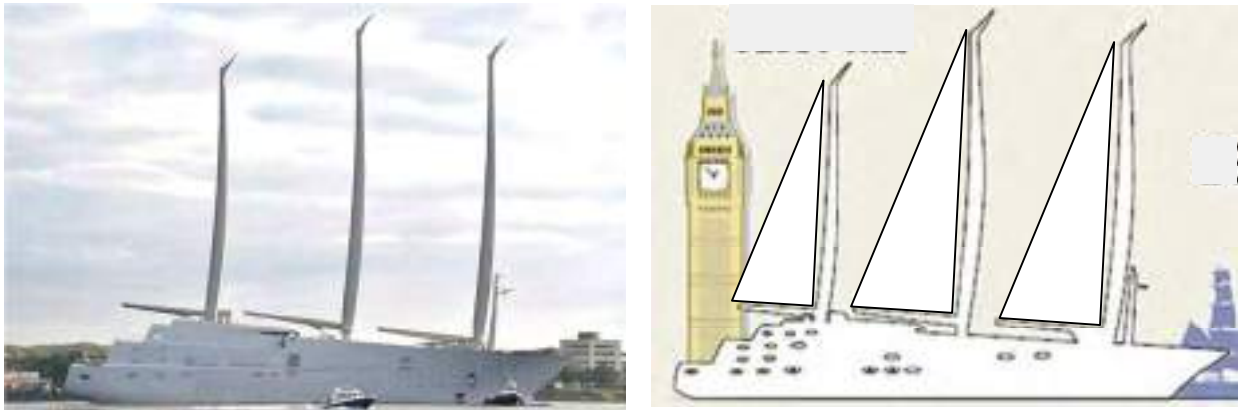


Рисунок 1 – Парусная яхта «А» российского миллиардера Мельниченко (Германия)

Увеличение количества мачт до 7 и более – позволяет довести дедвейт судна до 30...40 тыс. т., что приемлемо для многих транспортных перевозок. Поэтому, несмотря на высокую стоимость яхты  $\approx 400$  млн. \$, из которых доля затрат на мачты может быть оценена в 5...10% этой суммы, что составляет от 20 до 40 млн. \$, данные затраты нельзя считать напрасными – мачты и их парусные системы уже созданы, что может снизить будущие затраты на 1 мачту до 1...2 млн. \$.

Однако для своевременной доставки грузов среднейрейсовая скорость ветра должна составлять 7–10 м/с, что не всегда возможно. Поэтому на яхте «А», как и на других существующих парусных судах (рис. 2) [10], используются дублирующие судовые ДВС.



Рисунок 2 – Современное парусное судно «Royal Clipper» 1999 г. постройки круизной компании Star Clippers Incorporation

Кроме парусов общей площадью 5040 м<sup>2</sup>, что позволяет развивать судну скорость до 20 узлов, близкую к максимально допустимой скорости для эксплуатации парусов [11], «Royal Clipper» имеет 2 ДВС «Caterpillar» общей мощностью около 5000 кВт, позволяющих ему развивать скорость до 13 узлов при отсутствии ветра, что гарантирует безопасность его работы и своевременную доставку пассажиров в порт назначения.

Однако дублирование потребности движения судна от ДВС – требует выполнения на нем машинных отделений со всеми полагающимися им системами:

- 1) приемки, хранения, подготовки и транспортировки топлива с их цистернами, насосами, трубопроводами, сепараторами и системами их обслуживания;
- 2) приемки, хранения, подготовки и очистки масла для смазки и охлаждения;
- 3) подвода воздуха для сгорания топлива, отвода отработанных газов, вентиляции и освещения машинного отделения;
- 4) сжатия и хранения воздуха для пуска ДВС;
- 5) дейдвудного вала, ходового винта и их обслуживания;
- 6) тушения пожаров и других систем безопасности работы машинной команды;

7) автоматического и прямого управления работой ДВС и других обслуживающих его систем.

При этом уменьшается полезный объем и грузоподъемность судна, а также требуется обслуживающий персонал и затраты на его содержание.

Совокупность указанных факторов существенно снижает технико-экономические показатели альтернативных судовых энергетических систем. Без ДВС – их применение возможно только при нерегулярных перевозках в прогулочном варианте (на яхтах).

Кроме этого, мачтовые парусные системы имеют существенные недостатки при их эксплуатации, полный перечень которых приведен в работе [12]. Важнейшие из них:

1. Кренование судна под действием ветра и его порывов.
2. Невозможность использования палубы для перевозки грузов.
3. Потребность межтрюмных зон для установки основания мачт по килю судна.

Уменьшает указанные недостатки бортовое размещение на судне мачтовых систем с жесткими поворотными парусами (рис. 3), примененное в проекте [6].



Рисунок 3 – Система поворотных мачтовых парусов в проекте судна 2025 года *eco marinepower*, объединенных с солнечными батареями (Япония)

В данной системе использован дополнительный эффект – объединения парусов с солнечными батареями, что применяется во всех проектах судов будущего, кроме [7], где солнечные батареи занимают всю поверхность крышек, закрывающих контейнеры, поэтому использованы гибкие паруса, убирающиеся в межтрюмное пространство во время шторма (рис. 4). При этом гибкие паруса дешевле и легче управляются при смене направления ветра.



Рисунок 4 – Система гибких подъемных мачтовых парусов в проекте судна 2030 года «NYK Super Eco Ship» (Япония)

Важным преимуществом гибких систем (рис. 4) над жесткими (рис. 3) является более высокий КПД за счет вогнутости парусов [13].

Еще больший КПД имеют гибкие паруса попутного принципа действия «летающее крыло» системы «SkySails» проекта «Beluga» (Германия) [14] (рис. 5). Система дешевле и проще в эксплуатации, чем системы мачтовых парусов, а также обеспечивает возможность использования палубы для перевозки грузов при минимальном креновании корпуса судна.

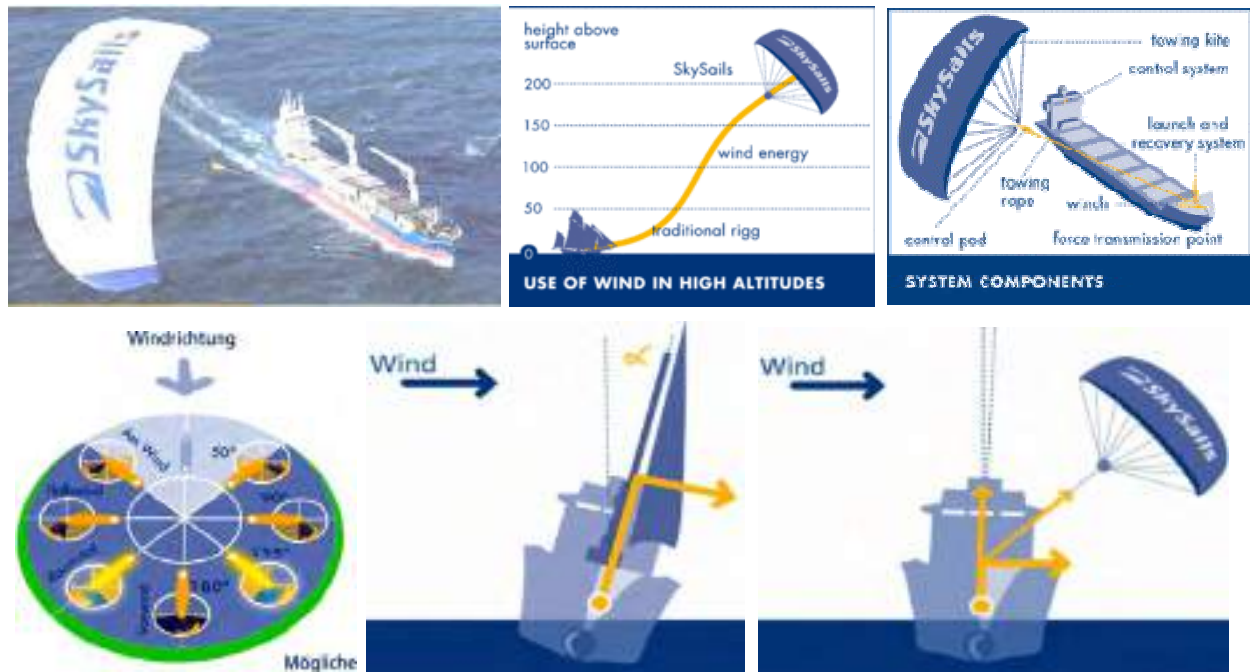


Рисунок 5 – Система парусов SkySails (Германия), принципы и условия ее действия

Однако общий недостаток всех систем попутного принципа действия – ограничение применения по скорости ветра: верхний предел 17...20 м/с – по условиям безопасности [11], а нижний предел 7...10 м/с – по условиям скорости доставки грузов, поэтому реальное их применение возможно в зонах устойчивого действия ветров, приведенных на рис. 6.

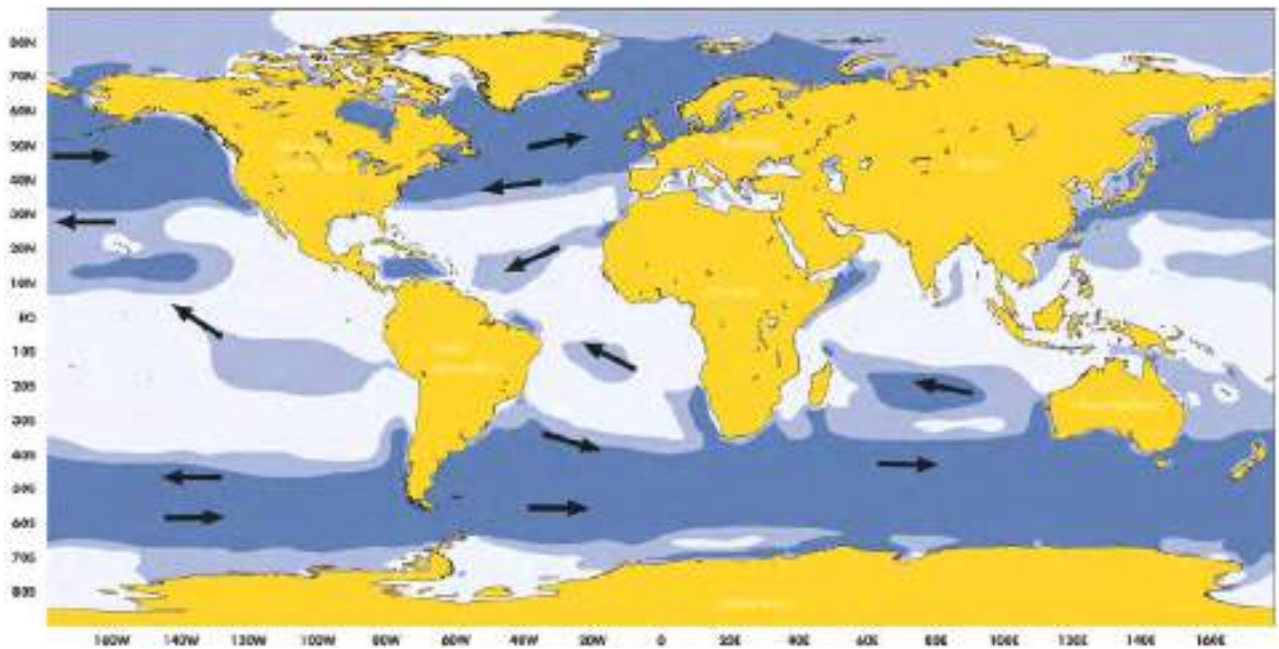


Рисунок 6 – Устойчивые направления действия ветровых потоков: ■ – сильный ветер 10...20 м/с, ▨ – умеренный ветер 5...10 м/с, ■ – слабый ветер до 5 м/с

На большинстве маршрутов – скорость ветра до 5 м/с. При этом устойчивость его действия варьируется, как по направлению, так и по силе, в т.ч. – в зависимости от времени

года и суток, что не обеспечивает постоянной скорости судна, поэтому подобные системы могут применяться только как дополнительные к главным ДВС.

Другим важным недостатком является то, что при встречном ветре система парусов попутного принципа действия лишь мешает движению судна.

По данным фирмы Zeppelin [14] тяга паруса системы SkySails составляет величину  $P_{\Pi} = 0,5$  кН на  $1 \text{ м}^2$ , которая растет прямопропорционально площади паруса, а мощность системы растет прямопропорционально превышению скорости ветра над скоростью судна, составляющую 7–10 м/с. В дальнейших расчетах принимаем среднеарифметическую скорость попутного ветра 14 м/с, используемую частично во время рейса (более точно эту долю можно определить для конкретного рейса с учетом стабильности ветров, показанных на рис.6). Тогда эквивалент мощности  $1 \text{ м}^2$  системы составит 3,5...2 кВт/ч, а для получения дополнительной мощности в 1 МВт/ч потребуется площадь паруса от 300 до 500  $\text{м}^2$ . Такая мощность достигает от 20 % до 5 % мощности судовых ДВС в 5...20 МВт.

Стоимость системы SkySails с парусом площадью 320  $\text{м}^2$  и установкой ее на судне составляет около 700 тыс. € [14]. При эффективном использовании системы в среднем до  $\frac{1}{3}$  общего времени выполнения морских переходов ( $\approx 250$  суток в год по 12 часов в сутки, поскольку в ночное время ее применение затруднено), а общий эквивалент мощности  $\Sigma N_{\Pi}$ , выработанной за год, составит величину (1):

$$\Sigma N_{\Pi} = 1(\text{МВт} / \text{час}) \times 12(\text{часов} / \text{сутки}) \times \frac{1}{3} \times 250(\text{суток}) = 1000(\text{МВт}). \quad (1)$$

Для жесткой системы парусов (рис. 3) кпд не превышает 0,2, поэтому тяга составит величину  $P_{\Pi} = 0,2$  кН на  $1 \text{ м}^2$ , которая растет прямопропорционально площади паруса, а мощность системы растет прямопропорционально превышению скорости ветра над скоростью судна, составляющую 7...10 м/с. Тогда в условиях, аналогичных предыдущим, для годовой выработки 1000 МВт энергии площадь парусов должна достигать 800  $\text{м}^2$ .

Для повышения кпд в проектах подъемных парусов выполнены скругления на их боковых сторонах (рис. 7), что повышает их тягу до  $P_{\Pi} \approx 0,3$  кН на  $1 \text{ м}^2$ . Тогда в условиях, аналогичных предыдущим, для годовой выработки эквивалента 1000 МВт мощности площадь парусов должна составлять 530  $\text{м}^2$ . В проекте судна «CargoXpress» [15] она составляет 1200  $\text{м}^2$  и покрыта солнечными батареями, поэтому суммарная мощность системы может достигать 2,5 МВт.

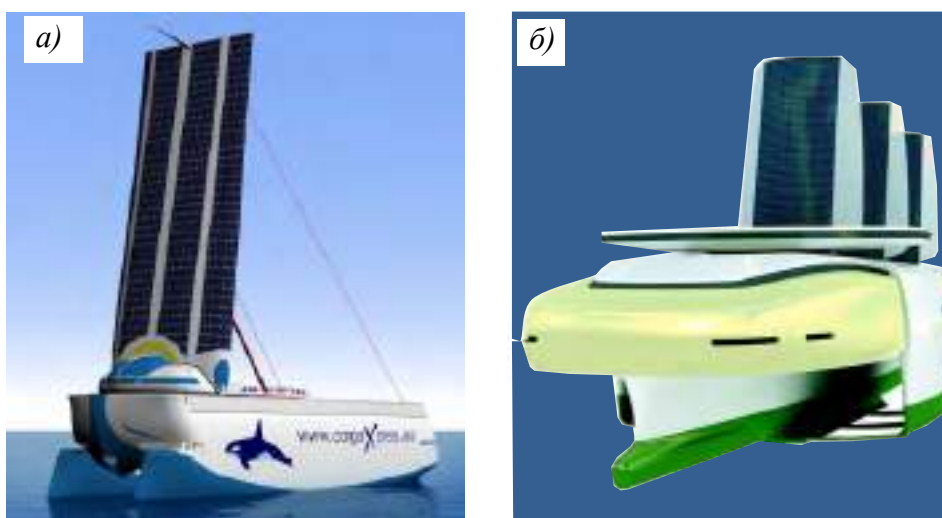


Рисунок 7 – Системы с жесткими подъемными парусами в проектах судов:  
а) «CARGOXPRESS» (Испания), б) «E/S ORCELLE» (Швеция)

Аналогичное исполнение подъемных парусов с боковыми скруглениями выполнено в проекте судна E/S ORCELLE (Швеция) [8], показанного на рис. 7б.

Преимуществом поворотных систем [6] является возможность полного восприятия ветрового потока, а для подъемных систем [8, 15] – возрастает сложность обеспечения поворота паруса, поэтому при росте ветровых углов к курсовым их тяга падает. Учитывая более высокую сложность изготовления и эксплуатации известных поворотных (рис. 3) или подъемных (рис.7) парусных систем в проектах судов [6, 8, 15], их стоимость для получения эквивалента 1 кВт/ч мощности будет более высокой, чем в системе SkySails, а за счет более низкого КПД их технико-экономические показатели даже при эксплуатации 24 часов в сутки, будут ниже показателей системы SkySails при одинаковой парусности.

Наиболее эффективной системой можно признать мачтовую яхты «А», хотя средняя площадь ее косых парусов 2,6 тыс.м<sup>2</sup>, что уступает площади 5 тыс. м<sup>2</sup> 42-х парусов судна «Royal Clipper», но они проще в обслуживании, а их вогнутый прогиб повышает КПД и тягу до 0,3 кН на 1 м<sup>2</sup> [13]. Поэтому при средней рейсовой скорости ветра ≈ 14 м/с, развиваемая яхтой А мощность может достигать 11 МВт/ч, тогда среднегодовая мощность  $\Sigma N_A$  при эксплуатации системы 24 часа в сутки составит:

$$\Sigma N_A = 11(\text{МВт} / \text{час}) \times 24(\text{часа} / \text{сутки}) \times \frac{1}{3} \times 250(\text{суток}) = 22000(\text{МВт}). \quad (2)$$

Поскольку средняя мощность 1-й мачты может составлять около 2,5 МВт/ч, то для 7-ми мачтового судна она составит около 17 МВт/ч, что приемлемо для судов дедвейтом до 40 тыс. т, широко применяемых в транспортном флоте.

**Ветряная система встречного принципа действия** [16] устраняет указанную зависимость от скорости ветра, поскольку может действовать при полном его отсутствии, только за счет собственной скорости судна 7...10 м/с. Она вырабатывает универсальную для применения энергию – электрическую, мощность которой растет при встречном ветре от скорости 1 м/с, до 20 м/с. Кроме того, работа системы возможна также на якорной стоянке фактически при любом направлении ветра, а у стенки пирса в порту – при встречном ветре, что реально сводит ее применение до 1/3 времени длительности года в 365 суток. Для данных систем [16] (рис. 8) наиболее эффективным является применение электрогенераторов с барабанными ветряными колесами 1, установленными вплотную на лобовой поверхности надстроек 2-го судна. При этом вредная работа сопротивления надстроек судна встречному потоку воздуха превращается в полезную работу ветряных колес. Такая система разработана для судна «Atlantic Bulker» (ДВС мощностью 15 МВт).

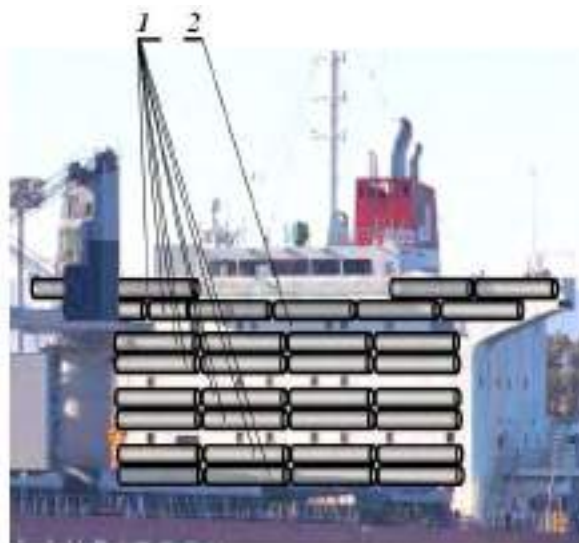


Рисунок 8 – Судовая ветряная система встречного принципа действия барабанного типа для судна «Atlantic Bulker» (Украина)

Мощность 1-го ветряного колеса диаметром 0,75 м и длиной 4 м при скорости судна 7 м/с и полном отсутствии встречного ветра составит 1,5 кВт/ч, а при средней рейсовой

скорости встречного ветра 14 м/с мощность достигает 18 кВт/ч. При установке на надстройке судна 32-х ветряных колес они обеспечат суммарную мощность до 0,6 МВт/ч, или от 12 до 3% мощности ДВС в 5...20 МВт. При стоимости модулей по 10 тыс. €, стоимости рамы для их установки на палубе судна 100 тыс. € и стоимости электрооборудования 300 тыс. €, общая их стоимость составит  $10 \times 32 + 300 + 100 = 720$  тыс. €. Тогда при работе в среднем до  $\frac{1}{3}$  длительности года в 365 суток по 24 часа в сутки общая мощность  $\Sigma N_K$  выработанной электроэнергии составит величину (3):

$$\Sigma N_K = 0,6(\text{МВт} / \text{час}) \times 24(\text{часа} / \text{сутки}) \times \frac{1}{3} \times 365(\text{суток}) = 1750(\text{МВт}). \quad (3)$$

Однако мощность ветряных систем встречного принципа действия не превышает 2...3 МВт, поскольку ограничена площадью сопротивления лобовых надстроек судна.

**Технико-экономический анализ солнечных судовых энергетических систем.** Для них предпочтительны фотоэлектрические системы, КПД которых в 2 раза выше тепловых систем и они широко используются в проектах судов будущего [6–8]. Их преимуществом также является выработка универсальной для потребления электрической энергии, однако среднегодовое время использования системы составляет  $\approx 12$  часов светового времени в сутки, т.е. половину от длительности года в 365 суток, за исключением 25 % пасмурных и дождливых дней, когда освещенность солнечных батарей падает до 50...90 %.

В солнечной судовой энергетике пока созданы лишь маломощные тихоходные суда, поскольку для обеспечения 1 МВт мощности требуется площадь солнечных батарей в 5,7 тыс. м<sup>2</sup>, составляющих размеры 100 м  $\times$  57 м – почти футбольное поле. Такие площади могут иметь только значительных размеров танкеры и крытые паромы.

При определении технико-экономических показателей существующих солнечных судовых электроэнергетических систем учтен опыт изготовления и эксплуатации катамарана «*Turanor Solar Planet*» [17] (рис. 9).



Рисунок 9 – Катамаран «*Turanor Solar Planet*», работающий на солнечных батареях (Германия)

Катамаран прошел испытания в 2007–2008 гг., совершив кругосветный переход за 584 суток. Площадь его солнечных батарей 537 м<sup>2</sup> и состоит из 38 тыс. фотоэлектрических панелей, генерирующих до 93,5 кВт/ч электроэнергии при удельной мощности системы 0,175 кВт/м<sup>2</sup>. Она обеспечивает работу 2-х электродвигателей пиковой мощностью по 250 кВт, которые в стойком режиме развивают крейсерскую скорость 7,5 узлов, поэтому яхта существенно уступает в скорости обычным парусным яхтам, а ее эффективная эксплуатация возможна только в экваториальной зоне. Стоимость яхты 12,5 млн. €. При стоимости проекта около 20 % от стоимости яхты, которую можно исключить в следующих исполнениях, ее стоимость составит 10 млн. €, из которых до  $\frac{1}{2}$  – стоимость раздвижных панелей с солнечными батареями и систем для накопления и передачи электроэнергии потребителям.



Для уменьшения стоимости подобных яхт швейцарской компанией «Solarwave» и турецкой судостроительной компанией «Nedship» в 2014 г. была построена 62-футовая яхта «Solarwave 62» (Солнечная волна-62) стоимостью  $\approx 2$  млн. €, показанная на рис. 10 [18].



Рисунок 10 – Яхта «Solarwave 62» фирмы «Solarwave» на солнечных батареях, построенная в 2014 г. судостроительной компанией «Nedship» (Швейцария – Турция)

Снижение цены яхты обеспечено уменьшением ее размеров и водоизмещения, снижением стоимости материалов и сокращением площади солнечных батарей до  $80 \text{ м}^2$ , что привело к уменьшению их мощности до  $15 \text{ кВт/ч}$  при удельной мощности  $0,186 \text{ кВт/(ч}\cdot\text{м}^2)$  и к снижению скорости хода до 7-и узлов. Для обеспечения бытовых нужд яхты требуется дополнительная энергия и солнечные батареи или снижение мощности питания главных электродвигателей. В данном проекте стоимость  $1 \text{ м}^2$  панелей солнечных батарей и систем электропитания составила около  $1000 \text{ €}$  с общей стоимостью  $80 \text{ тыс. €}$ . При эффективном использовании системы в среднем до  $\frac{3}{4}$  длительности года в  $365$  суток по  $12$  часов в сутки общий эквивалент мощности  $\Sigma N_c$ , составит величину(4):

$$\Sigma N_c = 1,5(\text{Вт} / \text{час}) \times 12(\text{часов} / \text{сутки}) \times \frac{3}{4} \times 365(\text{суток}) = 49(\text{МВт}). \quad (4)$$

Солнечные батареи выполняют на всех жестких парусах судов будущего [6, 8, 15]. При этом максимально используют все возможные площади для их установки (рис.11), однако их мощность не превышает  $5 - 10 \%$  мощности базовых судовых ДВС в  $5-20 \text{ МВт}$ . Однако большой недостаток для сухогрузов (рис. 11) – возможность сильного загрязнения солнечных батарей при погрузке и разгрузке сыпучих грузов, что требует их помывки с дополнительными затратами на ее выполнение и затягивает время стоянки судна в порту. Периодической помывки требуют солнечные батареи и на других судах их установки.

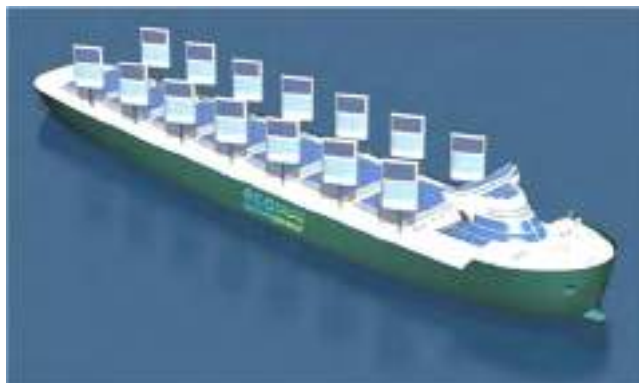


Рисунок 11 – Усовершенствованный проект судна *eco marinepower* (Япония)

**Технико-экономический анализ гидроволновых судовых энергетических систем.** В работе [3] гидроволновая энергетика для судов признана недоступной. Однако в работе [19] проведен анализ и показан наиболее целесообразный вариант ее реализации

в системах маятникового типа (рис. 12), защищенных патентом Российской Федерации на изобретение [20].

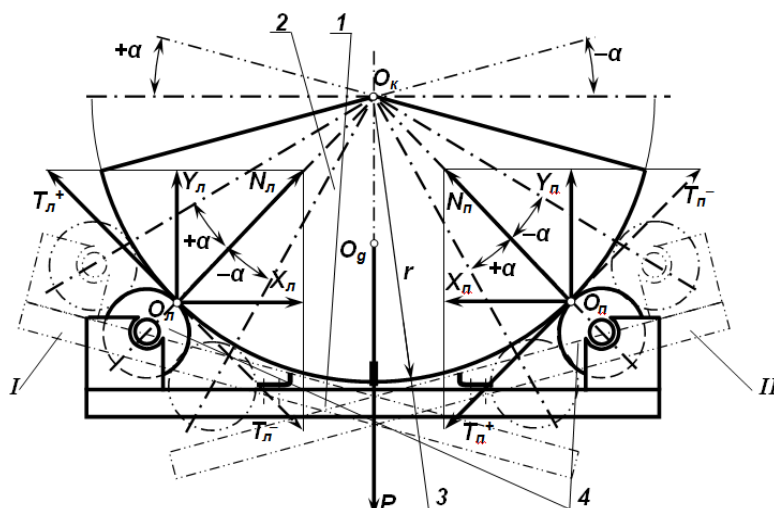


Рисунок 12 – Схема установки грузового сектора на опорные ролики в трюме судна и система действия сил в гидроволновой энергетической установке (Россия – Украина)

Перевозимый в трюмах корпуса 1 судна груз 2 размещен в сегментах с дуговым основанием 3, которые свободно установлены на опорные ролики 4, что придает грузу устойчивую ориентацию к центру Земли. Поэтому при наклоне корпуса судна волнами в положения I и II груз сохраняет свое положение, а опорные ролики перекатываются по его дуговой поверхности. Далее их вращение напрямую или через реверсивные зубчатые передачи с обгонными муфтами передается валам роторов электрогенераторов (во 2-м случае сохраняется одно и тоже направление вращения роторов электрогенераторов, что облегчает условия их эксплуатации).

Энергетический потенциал системы определяется весом груза  $P = gm$ , радиусом  $r$  дугового сектора и углом  $\pm\alpha$  (рад) его качания по зависимости (5):

$$E_G = 2gmra(\text{Дж}). \quad (5)$$

Мощность системы зависит от периода качки судна волнами, которая зависит от их высоты и размеров корпуса судна, качаемого волнами. При минимальной высоте волн  $h = 1$  м период качки составляет величину  $\tau = 2,61$  с [13], тогда при длине корпуса  $L = 150$  м и радиусе дугового сектора качания грузов  $r = 10$  м, удельная мощность в расчете на 1000 т массы  $m$  груза составит величину (6):

$$N_g = \frac{gr}{\tau} 2\text{arctg}\left(\frac{h}{0,5L}\right)m = \frac{9,81 \times 10}{2,61} 2 \times \text{arctg}\left(\frac{1}{75}\right)m = 1(\text{МВм} / \text{час}). \quad (6)$$

При массе перевозимых грузов 10 тыс.т. (что сравнимо с грузоподъемностью яхты «А») и эффективном использовании системы в среднем до  $\frac{3}{4}$  длительности рейса в 250 суток по 24 часов в сутки общий эквивалент мощности  $\Sigma N_G$  составит величину (7):

$$\Sigma N_G = 1 \times 10(\text{МВм} / \text{час}) \times 24(\text{часа} / \text{сутки}) \times \frac{3}{4} \times 250(\text{сутки}) = 45000(\text{МВм}). \quad (7)$$






Таким образом, мощность гидроволновой системы превышает мощность любых других нетрадиционных энергетических систем и она применима для судов, дедвейтом до 40 тыс. т, поскольку при больших размерах – эффект качки судна уменьшается.

Расходы на изготовление такой системы можно оценить условно в 20 млн. € (более точный расчет возможен для конкретного варианта изготовления судна).

Учитывая, что для выработки 1 кВт энергии судовые электрогенераторы расходуют около 0,18 кг дизельного топлива или 0,19 кг мазута, то его годовая экономия

в пределах мощностей (1)...(3), (7) – составит величину  $\Delta Q$ , тогда при нынешней стоимости 1 кг дизельного топлива около 0,35 € и мазута около 0,2 €, срок окупаемости проектов составит величину  $\Delta T$ , приведенную в табл. 2. При этом учитывали, что расходы на эксплуатацию и обслуживание систем составляют около 10% от их исходной стоимости.

Таблица 2 – Соотношение затрат и сроков окупаемости основных нетрадиционных судовых энергетических систем

Вариант	Эквивалент мощности (тыс. кВт)	Расходы на систему (тыс. €)	Экономия топлива $\Delta Q$ (тыс. кг)	Стоимость 1 кг топлива (€/кг)	Экономия затрат (тыс. €)	Срок окупаемости $\Delta T$ (годы)
	22000	20000×1.1= =22000	3240	0.35	1134	19,4
			3420	0,2	684	32,2
	1000	700×1.1= = 770	180	0.35	63	12,1
			190	0,2	38	20,2
	1750	720×1.1= = 792	298	0.35	104	7,6
			332	0,2	66	12,0
	49	80×1.1= = 88	14,4	0.35	5	17,6
			15,2	0,2	3	29,3
	45000	20000×1.1= =22000	8100	0.35	2835	7,8
			8550	0,2	1710	12,9

Наименьшие сроки окупаемости 7,8 и 7,6 года имеют гидроволновые и ветряные системы встречного принципа действия, Однако следует учесть, что проекты со сроком окупаемости свыше 5-и лет считаются экономически нецелесообразными, поэтому в настоящее время экологически чистые проекты судов [6–8, 15] малопривлекательны для судовладельцев и частного капитала, и практически сводятся к дотационным. Поскольку решение проблемы применения альтернативной энергетики на транспортном флоте является важной и актуальной задачей для всего общества, необходимо ее решение.

#### Общие выводы по работе:

1. На судах транспортного флота до 20% энергии могут вырабатывать ветряные и солнечные энергетические системы, использующие бросовую природную энергию, отказ от которой можно считать расточительством.
2. Гидроволновая энергетика обладает наибольшим энергетическим потенциалом по сравнению с другими судовыми альтернативными энергетическими системами и может полностью заменить судовые ДВС.
3. При современных ценах на топливо, около 200 € за 1 т, экологически чистые проекты судов сводятся к дотационным, поэтому нынешнее резкое снижение цен на нефть чревато отсутствием прогресса в их создании и внедрении, что в угоду ситуационных интересов некоторых стран мира увеличивает угрозу усиления парникового эффекта, опасного для всех стран мира.
4. Экологически чистые проекты судов на базе альтернативной энергетики могут быть экономически привлекательными для судовладельцев и частного капитала при снижении их себестоимости в 2 раза и при повышении стоимости топлива до 450 € за 1 т, что следует учитывать в ценовой политике и в объемах добычи нефти.
5. Для развития судовой альтернативной энергетики, позволяющей снизить выбросы парниковых газов и уменьшить расход топлива на 15...20 %, следует учесть, как

важное направление развития в решениях будущих международных договоров по экологии и охране окружающей среды и предусмотреть выделение дотационных средств на создание рассмотренных систем.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Настасенко В. А. Судовая альтернативная энергетика и реалии ее применения в современных условиях / В. А. Настасенко // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Warszawa, Polska). – 2016. – № 3 (7) – С. 36–47.
2. Кемпбел К. Грядущий нефтяной кризис / К. Кемпбел. – М. : Группа независимых издателей, 1997. – 210 с.
3. Шурляк В. К. Применение альтернативных видов энергии и альтернативных топлив на морских судах / В. К. Шурляк // СПГ как альтернативное топливо для морских судов : материалы Всероссийского Семинара – С-Петербург : ГМА им. Макарова, 2012. – 24 с. – Режим доступа: [www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/3.pdf](http://www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/3.pdf)
4. COP-21. Парижский Всемирный Саммит 2015 года по проблемам климата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/)
5. Месяц Г. А., Прохоров М.Д. Водородная энергетика и топливные элементы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.vivos\\_voco](http://www.vivos_voco)
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ecomarinepower.com/en/energysail>
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.nyk.com/english/release/31/NE\\_090422.html](http://www.nyk.com/english/release/31/NE_090422.html)
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=wAIAc4vU4IM>
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ruyachts.com/journal/sept22-2015-novyie-foto-sailing-yacht-a-andreya-melnichenko>
10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.podparusami.com/sailing-ships/royal-clipper-history-tech/>
11. Морской энциклопедический справочник. В 2-х томах. Т. 2. / Под ред. Н. Н. Исанина – Л. : Судостроение, 1986. – 426 с.
12. Настасенко В. О. Суднова альтернативна енергетика та особливості охорони праці і безпеки її експлуатації / В. О. Настасенко, В. А. Євдокимова // Вісник Херсонського національного технічного університету – Херсон : ХНТУ, 2014. – Вип. 1 (48). – С. 77–82.
13. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : курс лекций / В. А. Агеев. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та. Кафедра теплоэнергетических систем, 2004. – 343 с.
14. Zeppelin SkySails, Sales and Service – Germany, Hamburg, 2007 – 32 p.
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.CargoXpress.eu](http://www.CargoXpress.eu)
16. Заявка на патент Украины на изобретение № 201405695 Спосіб установки на судні системи вітрових генераторів барабанного типу. Від 25.05.2014 р. Авт. і заявник Настасенко В.О. Рішення про видачу патенту від 01.09.2016 р.
17. SOLAR TURANOR [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://alternathistory.org.ua/turanor-planet-solar-samoe-bolshoe-v-mire-sudno-na-solnechnikh-batareyakh>
18. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.solarwave-yachts.com](http://www.solarwave-yachts.com)
19. Настасенко В.О. Блах І. В. Сучасний стан судової гідрохвильової енергетики та його аналіз // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. –Херсон : ХДМА, 2015. – № 1 (12). – С. 58–65.

20. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение 2014103004/20 от 28.01.14. Судно с гидроволновой энергетической установкой Автор и заявитель. Настасенко В.А. Решение о выдаче патента от 20.07.16.

## REFERENCES

1. Nastasenko V. A. Sudovaya aljternativnaya ehnergetika i realii ee primeneniya v sovremennikh usloviyakh / V. A. Nastasenko // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Warszawa, Polska). – 2016. – № 3 (7) – S. 36–47.
2. Kempbel K. Gryaduthiyj neftyanoyj krizi / K. Kempbel. – M. : Gruppya nezavisimihkh izdateleyj, 1997. – 210 s.
3. Shurlyak V. K. Primenenie aljternativnihkh vidov ehnergii i aljternativnihkh topliv na morskikh sudakh / V. K. Shurlyak // SPG kak aljternativnoe toplivo dlya morskikh sudov : materialih Vserossiyjskogo Seminara – S-Peterburg : GMA im. Makarova, 2012. – 24 s. – Rezhim dospupa: [www.korabel.ru/filemanoger/OTHER/0/0/3.pdf](http://www.korabel.ru/filemanoger/OTHER/0/0/3.pdf)
4. SOR-21. Parizhskiyj Vsemirniyj Sammit 2015 goda po problemam klimata [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : [www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/)
5. Mesyac G. A., Prokhorov M.D. Vodorodnaya ehnergetika i toplivnihe ehlementih. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : [www.vivos\\_voco](http://www.vivos_voco)
6. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.ecomarinepower.com/en/energysail>
7. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : [http://www.nyk.com/english/release/31/NE\\_090422.html](http://www.nyk.com/english/release/31/NE_090422.html)
8. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.youtube.com/watch?v=wAIAC4vU4IM>
9. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://ruyachts.com/journal/sept22-2015-novyie-foto-sailing-yacht-a-andreya-melnichenko>
10. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.podparusami.com/sailing-ships/royal-clipper-history-tech/>
11. Morskoyj ehnciklopedicheskiyj spravochnik. V 2-kh tomakh. T. 2. / Pod red. N. N. Isanina – L. : Sudostroenie, 1986. – 426 s.
12. Nastasenko V. O. Sudnova aljternativna energetika ta osoblivosti okhoroni praci i bezpeki її ekspluatacii / V. O. Nastasenko, V. A. Cvdokimova // Visnik Khersonsjkogo nacionaljnogo tekhnichnogo universitetu – Kherson : KhNTU, 2014. – Vip. 1 (48). – S. 77–82.
13. Ageev V. A. Netradicionnihe i vozobnovlyaemihe istochniki ehnergii : kurs lekcijj / V. A. Ageev. – L. : Izd-vo Leningr. un-ta. Kafedra teploehnergeticheskikh sistem, 2004. – 343 s.
14. Zeppelin SkySails, Sales and Servise – Germany, Hamburg, 2007 – 32 p.
15. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : [www.CargoXpress.eu](http://www.CargoXpress.eu)
16. Zayavka na patent Ukrainih na izobretenie № 201405695 Sposib ustanovki na sudni sistemi vitrovikh generatoriv barabannogo tipu. Vid 25.05.2014 r. Avt. i zayavnik Nastasenko V.O. Rishennya pro vidachu patentu vid 01.09.2016 r.
17. SOLAR TURANOR [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://alternathistory.org.ua/turanor-planet-solar-samoe-bolshoe-v-mire-sudno-na-solnechnikh-batareyakh>
18. [Ehlektronniyj resurs]. – Rezhim dostupa : [www.solarwave-yachts.com](http://www.solarwave-yachts.com)
19. Nastasenko V.O. Blakh I. V. Suchasniyj stan sudnovoi gidrokhviljivoi energetiki ta yjogo analiz // Naukoviyj visnik Khersonsjkoї derzhavnoї morsjkoї akademii : naukoviyj zhurnal. –Kherson : KhDMA, 2015. – № 1 (12). – S. 58–65.
20. Zayavka na patent Rossiyjskoyj Federacii na izobretenie 2014103004/20 от 28.01.14. Судно с гидроволновой энергетической установкой Автор и заявитель. Nastasenko V.A. Reshenie o vihdache patenta от 20.07.16.

**Настасенко В. О. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ СУДНОВОЇ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ І МОЖЛИВОСТІ ЇЇ РОЗВИТКУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

*У роботі проведений аналіз основних шкідливих викидів при спалюванні в суднових ДВС традиційних палив на базі нафти і газу. Показано, що їх зменшення можливе при переході на водневе паливо і при заміні палива альтернативною енергетикою, серед якої для транспортних суден використовують попутні вітрильні і зустрічні барабанні вітряні енергетичні системи, а також сонячні фотоелектричні та гідрохвильові системи. Однак їх застосування при вартості суднового палива <450 € стає дотаційним і непривабливим для приватного капіталу, що стримує можливості для розвитку і застосування суднової альтернативної енергетики, тому потрібний перегляд цінової політики у сфері палив на базі нафти і газу.*

**Ключові слова:** суднова вітряна, сонячна та гідрохвильова енергетика.

**Nastasenko V A. TECHNIQUES-ECONOMICAL ANALYSIS OF SHIP ALTERNATIVE POWER AND POSSIBILITIES OF ITS DEVELOPMENT IN MODERN TERMS**

*The analysis of basic harmful emissions during incineration in a ship DVS of traditional fuels on the basis of oil and gas is conducted. It is shown that their diminishing is possible in transition on a hydrogen fuel and while replacement of fuel alternative energy, among which the passing wind-driven and drum wind-driven power systems, sun photo-electric and hydro wave power systems are used for transport ships. However their application at the cost of ship fuel 450 € becomes subsidized and unattractive for a private capital, that restrains possibilities of development and application of ship alternative energy, that's why there's a need of the price policy review in the field of fuels on the basis of oil and gas.*

**Keywords:** vessel wind, solar and hydro wave power, technical and economical indexes.

© Настасенко В. О.

Статтю прийнято  
до редакції 05.04.17