

## **Возможности применения ветроустройств в предельных ветроволновых условиях**

*А. Я. Добрынин, А. А. Кутенев, Б. А. Царев*<sup>1</sup>

Показано, что применение на судах устройств, которые используют энергию ветра, необходимо для обеспечения экологических условий и для экономии топлива. Рассмотрены эффективные схемы проектного обоснования таких устройств.

**Possibility of application wind systems in the extreme wind and wave conditions.** *Artem Y. Dobrynin, Andrey A. Kutenev, Boris A. Tsarev, Saint-Petersburg State Marine Technical University, Saint-Petersburg.*

It is shown that the application of systems on ships that use wind energy is necessary to ensure the environmental conditions for fuel economy. Considered effective schemes of design rationale of such devices.

### **Введение**

Использование возобновляемой энергии ветра на судах путем применения судовых ветроустройств в дополнение к основному двигателю и взамен парусов находит все более широкое применение [1]. Достаточно широкого использования ветроустройств на морских судах можно ожидать по мере возрастания в экономике роли следующих факторов:

- дальнейшего роста цен на нефтепродукты;
- исчерпания нефтяных и газовых ресурсов;
- ухудшения экологической ситуации и возрастания штрафов за выбросы в атмосферу продуктов сгорания нефтепродуктов;
- появления судов, совмещающих применение обычных двигателей и ветроустройств без ущерба для своих функций; примером таких судов могут быть суда обслуживания морских промыслов в районах с активным ветровым режимом, исследовательские суда, туристские суда;
- совершенствования и изобретения ветроустройств повышенной эффективности с минимальной потребностью в их обслуживании экипажем судна и с возможностью избегать опасностей, возникающих в штормовых условиях.

На решение проблем по двум последним позициям и должны быть направлены усилия кораблестроителей. Особое внимание привлекают типы

---

<sup>1</sup> *Добрынин Артем Яковлевич* – аспирант; *Кутенев Андрей Александрович* – зам. главного инженера ЦМКБ «Алмаз», кандидат технических наук, доцент; *Царев Борис Абрамович* – профессор кафедры проектирования судов Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, доктор технических наук.

ветроустройств, имеющие более высокую потенциальную эффективность в сравнении с давно известными традиционными парусами [2–4]. Имеются в виду ветропропеллерные и ветроторные установки. Ветропропеллеры именуются также ветротурбинами и сходны по принципу действия со старинными ветряными мельницами: поток ветра набегает на «крылья» мельницы, они вращаются и через коническую передачу вращают жернова, перемалывающие зерно в муку. По этой же схеме устроены ветропропеллеры и на опытовых судах: на высоком решетчатом фундаменте находится гондола ветропропеллера, при этом с помощью флюгерного устройства лопастной «диск» всегда устанавливается навстречу потоку ветра. Вращение лопастей через коническую передачу передается на вертикальный вал, а с него через другую коническую передачу – на горизонтальный валопровод с редукторами и гребным винтом.



**Рис. 1.** Грузовое судно с прямыми парусами модернизированного типа (разворачивающиеся паруса) [9]

На этот же вал может работать вспомогательный дизель или электромотор на те случаи, когда ветра нет или когда ветер слишком силен.

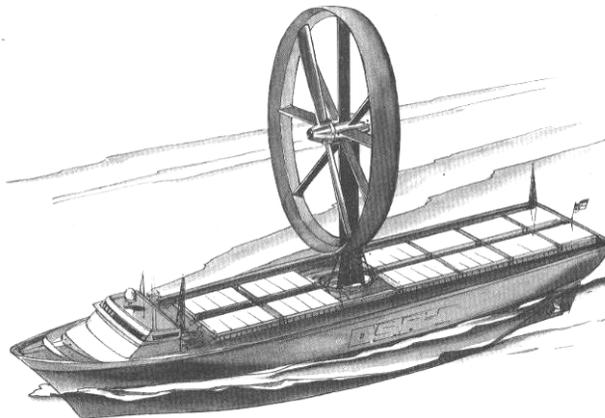
Проработки судов с таким ветроустройством показывают, что это работоспособная схема, обеспечивающая движение судов любым курсом относительно направления ветра [5].

Особенно активными были работы по применению энергии ветра в 80-е и 90-е годы XX века [6–8]. Эти работы показали перспективность ветроустройств и необходимость их внедрения по экологическим и энергосберегающим соображениям.

Однако в период экономических реформ главное внимание стало обращаться на краткосрочные исследования, сулящие более быструю окупаемость капиталовложений. Сейчас ситуация несколько стабилизировалась, и работы по ветроустройствам активизируются [2, 3, 5].

## **Возможности применения ветропропеллеров**

Наиболее перспективны ветропропеллеры, которые неслучайно привлекли внимание академика П. Л. Капицы [2]. Их можно применять как в качестве судовых ветроустройств, так и в виде стационарных плавучих энергоблоков, которые используют энергию ветра для работы электрогенераторов. Часть энергии может передаваться в береговые энергосистемы по подводным кабелям, а часть – сохраняться с помощью аккумуляторов. Такие энергоблоки могут служить зарядными станциями для судов с электродвижением, имеющих аккумуляторные системы.



**Рис. 2.** Судно с ветропропеллером в круговой насадке. По мысли проектанта, насадка повышает эффективность. Однако от насадки лучше отказаться, чтобы не повышать чрезмерно центр тяжести судна и не ухудшать остойчивость [9].

Автономные суда с ветропропеллерами при благоприятном ветре движутся с непосредственной передачей энергии ветра на гребной винт. В остальных случаях используют аккумуляторы (в экологически чистом варианте) или вспомогательные дизели.

### **Причины эффективности ветропропеллеров**

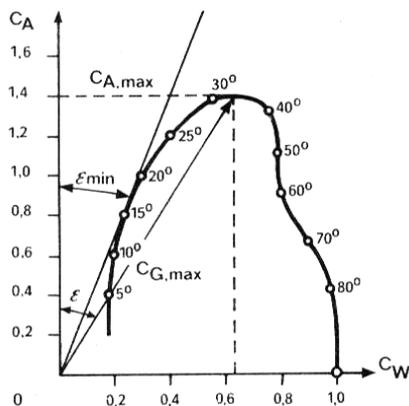
Пропульсивный эффект ветропропеллерной установки значительно выше, чем это представляется при обычном анализе, так как такая установка воспринимает ветер в зоне его устойчивых скоростей, а корпус «борется» с сопротивлением воздушной среды в зоне существенно меньших скоростей [2, 8]. Именно поэтому можно реально наблюдать успешное движение моделей судов с ветропропеллером прямо навстречу ветру, что «не умеют» делать традиционные парусные суда.

Однако у такой схемы все-таки есть существенные недостатки, которые могут быть компенсированы только в результате упорной изобретательской работы. Первый из недостатков – большие габариты, поднятые на большую высоту и вызывающие соответствующее перемещение общего центра тяжести, что вызывает ухудшение остойчивости. Второй недостаток – сложность

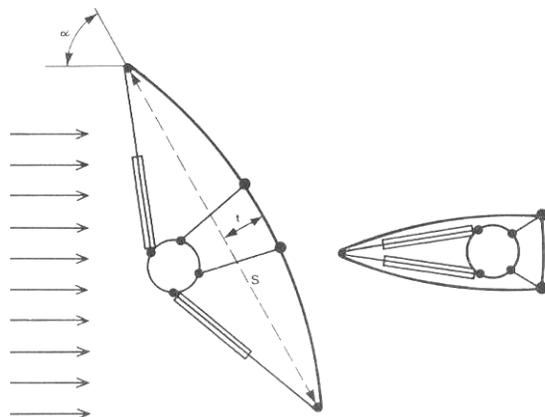


при внедрении автоматизированных схем управления ветроустройствами, близкими к парусам, можно надеяться на успех в этом направлении.

Для показанного на схеме рис. 3 случая максимальная сила  $F_A$  достигается при  $\alpha = 24^\circ$ ; наиболее выгодным (по максимуму аэродинамического «качества»  $F_A / F_W$ ) является  $\alpha = 15^\circ$ .



**Рис. 4.** Поляра для гоночного паруса (по сравнению с рис. 3 вместо сил указаны их коэффициенты  $C_A$  и  $C_W$ , а эффективность характеризуется минимумом «обратного качества»  $\epsilon = C_W / C_A$ ) [9]



**Рис. 5.** Схема взаимодействия с потоком ветра модернизированного разворачивающегося «прямого» паруса. В правой части рисунка парус показан в сложенном «флюгерном» положении для минимизации сопротивления при шторме или при ходе под двигателем [9]

Более совершенных характеристик парусов можно добиться у спортивных яхт и катамаранов (рис. 4). Однако для решения более обычных задач торгового мореходства рационально идти по пути модернизации прямых парусов с целью их автоматизации и обеспечения удобной работы, в том числе при ожидании шторма.

При модернизации парусов для «ветроходов» ставились задачи упростить работу с парусами и обеспечить возможность их быстрой трансформации при усилении ветра до штормового.

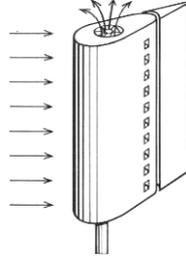


Рис. 6. Схема взаимодействия потока ветра и жесткого паруса [9]

Одним из направлений модернизации парусов обычной формы является их изготовление не из ткани, а из более жестких материалов, приближающих работу паруса к схеме работы крыла (рис. 6). Конечно, масса ветроустройства несколько возрастает, но в целом вариант оправдывается тем, что при более надежной автоматизации можно сократить и численность, и массу экипажа.

### Оценка эффективности ветророторов

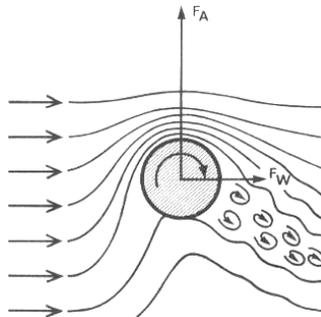


Рис. 7. Схема взаимодействия потока ветра и вращающегося ротора [9]

Применение роторов поначалу казалось благоприятным направлением, сочетающим гибкость маневрирования и минимум вмешательства человека. Однако редкое практическое применение этой схемы свидетельствует о еще невысокой суммарной эффективности данной схемы.

Только в сочетании с жестким парусом удастся добиться приемлемой эффективности, но при этом проявляются ранее упоминавшиеся недостатки парусов (рис. 8).

Таким образом, при ориентации на использование энергии ветра вполне конкурентоспособными остаются обычные тканевые паруса, их модернизированные и «жесткие» варианты, роторы, комбинации роторов с жесткими парусами-закрылками и ветропропеллеры. Для выбора рационального типа ветроустройства необходимо сопоставить эффективность различных версий.

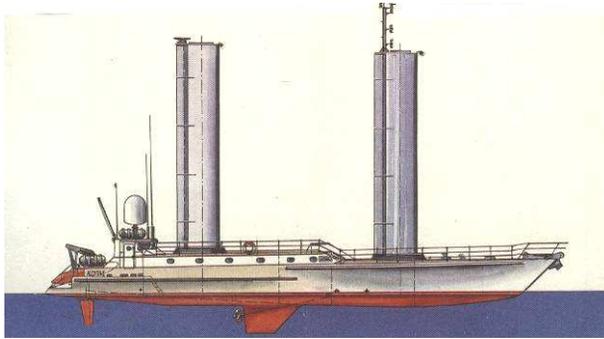


Рис. 8. Исследовательское судно Жака Кусто «Алкиона» с роторами и жесткими парусами-крыльями [9]

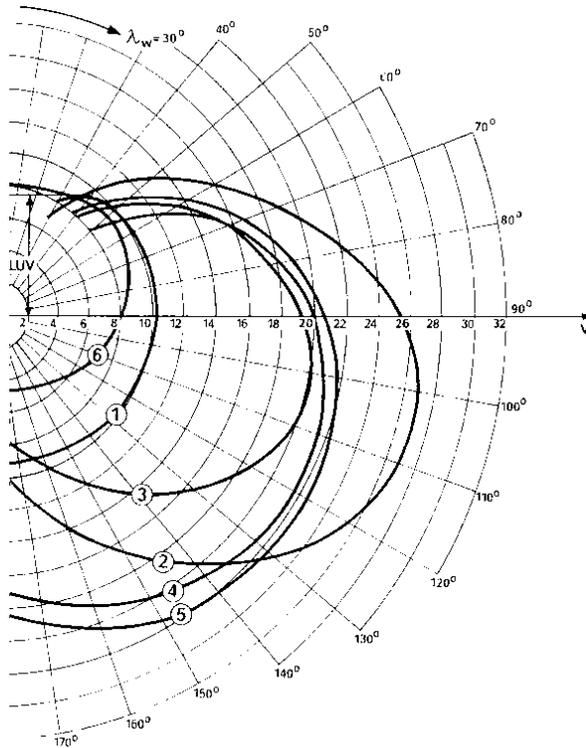


Рис. 9. Сопоставление полярных диаграмм достигаемых судами скоростей  $\vartheta$  при расчетном ветре 15 м/сек (7 баллов по шкале Бофорта): 1) парусная яхта; 2) гоночный катамаран; 3) роторное судно; 4, 5) суда с «прямыми парусами»; 6) ветропропеллерное судно. По часовой стрелке на диаграмме отложены курсовые углы судна  $\lambda_w$  по отношению к «вымпельному» ветру (ветер на диаграмме «дует» сверху) [9]. Диаграммы даны для курсовых углов одного борта, другой – симметрично

Такое сопоставление приведено на диаграмме рис. 9. Из диаграммы видна уникальность ветропропеллерного судна (6), которому подходит любой

ветер. Для остальных «ветроходов» курсовые углы менее 30° недоступны. Для катамарана (2) и роторного судна (3) максимальная скорость достигается на курсе 105°.

## Заключение

Сопоставление ветроустройств различного типа показывает, что их применение на морских судах уже началось путем применения «прямых» жестких парусов. Более широкое внедрение на судах устройств, которые используют энергию ветра, жизненно необходимо для обеспечения на планете Земля благоприятных экологических условий и для экономии топлива.

Рассмотрение схем ветроустройств убеждает в том, что в дальнейшем может оказаться эффективным применение комбинированных схем типа «Алкионы» (роторы + жесткий парус), ветророторов и ветропропеллеров. Необходимо изучать пути их проектного обоснования и меры по обеспечению безопасности эксплуатации с учетом доминантного значения аэрогидродинамических факторов в предельных штормовых условиях.

## Литература

1. Алчуджан Г. А., Фомина Е. В. Современные тенденции использования ветровой энергии на морских транспортных судах // Судостроение за рубежом. – № 1. – Л., 1982.
2. Бернгардт Р. П. Эмпирические результаты решения задачи Капицы о движении корабля под действием воздушной турбины // Мореходство и морские науки–2009. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2009. – С. 101–104.
3. Бернгардт Р. П., Агаширинова В. Ю. Режимы движения корабля, имеющего винтовую ветродвигательную установку // Тезисы трудов конференции «Единение науки и практики». – СПб.: НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, 2010. – С. 63–64.
4. Крючков Ю. С., Перестюк И. Е. Крылья океана. – Л.: Судостроение, 1983.
5. Мартюков П. П., Хрущев Д. А., Царев Б. А. Обоснование рациональных проектных характеристик судов с ветроустройствами // Тезисы трудов конференции «Единение науки и практики». – СПб.: НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, 2010. – С. 19.
6. Михайлов М. В. Влияние вспомогательного парусного вооружения на архитектуру современных судов // Судостроительная промышленность. – Серия: Общие вопросы судостроения. – Вып. 7: Архитектура и дизайн. – Л.: ЦНИИ «Румб», 1990. – С. 33–40.
7. Царев Б. А. Задача оптимизации проектных характеристик транспортных судов с ветроэнергетическими установками // Труды НКИ: Исследования, проектирование и постройка парусных судов. – Николаевск, 1982. – С. 69–73.
8. Царев Б. А. Проектирование экологически чистых и энергосберегающих судов. – Л.: ЛКИ, 1987.
9. Risch H., Bertholdt J. Windschiffe. Berlin, Technik, 1988.