

УДК 656.61

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ВЕТРЯНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ**Горячкин Георгий Юрьевич¹**, курсант*e-mail:* u6ix@yandex.ru**Зубкова Евгения Владимировна¹**, доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства*e-mail:* zubkovaevgeniya83@mail.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В рамках данной статьи мы рассмотрим достижение инженерной мысли, которое возникло в прошлом, было практически забыто на протяжении целого столетия, но в настоящее время получило новую жизнь в рамках современных проектов. Для водного транспорта развитие данной области позволит решить целый ряд проблем. Однако для эффективной и безопасной эксплуатации необходимо определить чёткую сферу применения данной технологии. С точки зрения экологии, данная концепция является весьма перспективной, поскольку она позволяет уменьшить выбросы отработавших газов.

Ключевые слова: водный транспорт, роторные паруса, всасывающие паруса, турбопаруса, водный транспорт.

AUTONOMOUS WIND PROPULSION SYSTEMS**Georgiy Yu. Goryachkin¹**, Cadet*e-mail:* u6ix@yandex.ru**Evgeniya V. Zubkova¹**, Associate Professor, Department of Navigation and Safety of Shipping*e-mail:* zubkovaevgeniya83@mail.ru¹Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. As part of this article, we consider an engineering invention that originated in the past, was practically forgotten for a century, but has now received a new lease of life in the framework of modern projects aimed at solving urgent problems. For water transport, the development of this area will solve a number of problems. However, for efficient and safe operation, it is necessary to define a clear scope of this technology. From an environmental point of view, this concept is very promising, as it reduces exhaust gas emissions.

Keywords: water transport, rotary sails, suction sails, turbo sails, water transport.

Водный транспорт представляет собой наиболее перспективную отрасль экономического развития, которая в настоящее время активно развивается. Это обусловлено рядом преимуществ, которыми обладает данный вид транспорта по сравнению

с другими. К ним относятся низкая стоимость, широкая география путей сообщения и возможность использования естественных водных путей.

Однако существуют и недостатки. Выброс отработанных газов оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. По данным британской газеты The Guardian на долю судов приходится более 18% загрязнения оксидами азота, и 3% выбросов парниковых газов. Хотя суда являются наиболее энергоэффективным способом перевозки грузов на дальние расстояния, их масштабы и объёмы оказывают значительное воздействие на окружающую среду.

Ежегодный рост объёмов грузоперевозок значителен, например, с 1990-х годов тонно-километраж морских перевозок в среднем увеличивался на 4% в год, а с 1970-х годов этот показатель вырос в пять раз.

Тем не менее, технологии не стоят на месте, и во всём мире ведётся активная разработка судов, потребляющих меньше топлива. Это не только способствует улучшению экологической ситуации, но и снижает себестоимость перевозок.

Огромное количество судовых систем и факторов, влияющих на движение судна, требуют тщательного изучения и анализа. Одним из способов повышения экономичности и экологичности работы судов является использование автономных системах ветренных движителей.

В автономных системах ветренных движителей мы рассмотрим турбопаруса: роторный (в технической литературе также встречается термин «ротатор Флеттнера» или «ротаторный парус») и всасывающий парус. Что это такое? Роторные паруса в первом приближение представляют из себя абсурдную мачту без парусов, которая к том уже и вращается. Но роторный парус имеет ряд преимуществ по сравнению с другими типами движителей, основан он на эффекте Магнуса, эффект впервые описан немецким физиком Генрихом Магнусом в 1853 году. При обтекании вращающегося тела потоком жидкости или газа возникает сила, которая воздействует на тело и направлена перпендикулярно направлению потока. Это является результатом совместного действия эффекта Бернулли и образования пограничного слоя в среде вокруг обтекаемого объекта.

Вращающийся объект создаёт в среде вокруг себя вихревое движение. С одной стороны объекта направление вихря совпадает с направлением обтекающего потока, и, следовательно, скорость движения среды с этой стороны увеличивается. С другой стороны объекта направление вихря противоположно направлению движения потока, и скорость движения среды уменьшается.

Эффект крайне прост и его можно объяснить исходя из закона Бернулли «в участках течения жидкости или газа, где скорость больше давление меньше и наоборот» (рис. 1) в формульном виде записывается как $P + 1/2\rho v^2 + \rho gh = \text{константа}$, стоит заметить что не учтены потери на трение. Возвращаясь к эффекту Магнуса: вокруг вращающегося объекта вращается и жидкость или газ из за силы трения и если на их вращение направить поток составляющей в среде которой они находятся, то по одну сторону вращающегося объекта скорость потока будет большей а с обратной стороны меньшей и из за разности скоростей потока возникает сила Бернулли которая в свою очередь действует на тело. Ярким и всем знакомым представлением этого эффекта есть «крученный мяч» в футболе или настольном теннисе, где удар под определенным углом придает мячу вращение и «кривую» траекторию полёта.

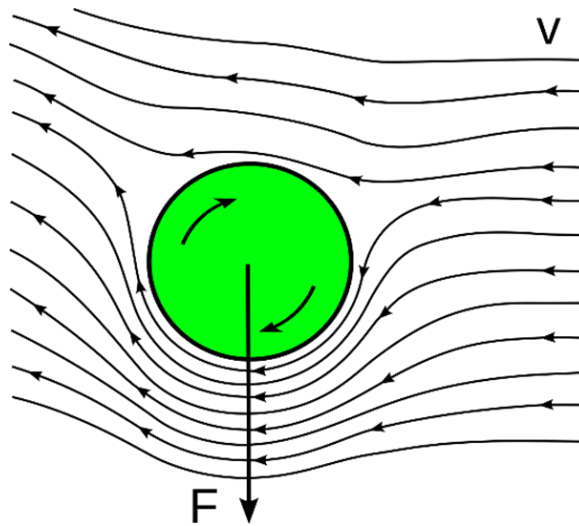


Рисунок 1

Теперь немного усовершенствуем закон Бернулли для наших задач:

$$F = 1/2 \rho V^2 A C$$

(1)

где F — подъёмная сила;

ρ — плотность жидкости;

V — скорость относительно среды;

A — поперечная площадь;

C — коэффициент подъёмной силы.

Потерями энергии на трении мы также пренебрегаем.

SUCTION SAIL

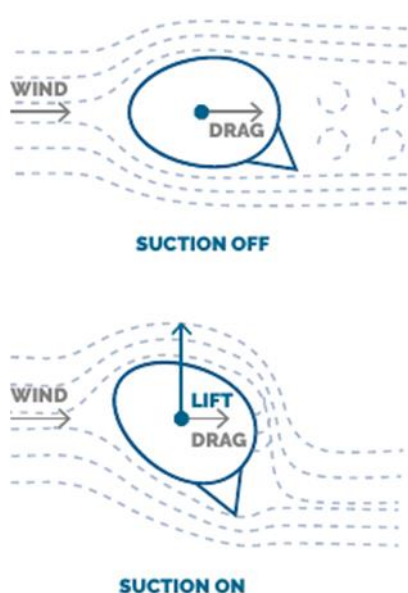


Рисунок 2

Всасывающий парус представляет из себя столб, на задней части которого находится отверстия для забора воздуха и «крыло», сам парус установлен на основание с возможностью поворота и на нижней части находятся также отверстия для отвода воздуха. Принцип работы всасывающего паруса можно объяснить исходя из того же закона Бернулли, благодаря всасываю воздуха с одной стороны и сопротивлению «крыла» с другой создается разность скоростей потока и как следствие разность давления, которая в свою очередь создает движущую силу (рис. 2).

У турбо парусов есть и ряд недостатков, это ветрозависимость без движения внешних воздушных масс движения судна невозможно, но стоит заметить, что при движении судна создается встречный поток воздуха, благодаря которому роторные паруса могут создавать силу действующую перпендикулярную ДП. Тест их можно использовать как подруливающее устройство по всему маршруту следования для минимизации дрейфа. Вторым весомым недостатком является скорость судна, при установке такого вида движителя возрастает лобовое сопротивление воздуха, и оптимальная скорость хода падает и зависит от скорости ветра. Безусловно, судно, оснащенное турбопарками, будет стоять в среднем на 10–15% дороже. Однако по мере развития данной технологии стоимость таких судов будет снижаться.

Из преимуществ роторных и всасывающих парусов кроется в его названии это парус, то есть для движения он использует естественную силу природы: бесплатную и экологичную. Также стоит упомянуть что значительным преимуществом роторных парусов перед классическими является малый крен и дифферент судна, и меньшая площадь паруса в 6-7 раз при одинаковой производительности.

Впервые роторные турбопаруса были испытаны Антоном Флеттнером — выдающимся немецким авиационным инженером и изобретателем, который внёс значительный вклад в разработку самолётов, вертолёт, судов и автомобилей. Испытания прошли успешно на трёхмачтовой шхуне «Букау» в 1924 году.

Во время плавания не требовалось вызывать на палубу членов команды, чтобы они меняли паруса в зависимости от силы или направления ветра, так как управление движением мог осуществлять вахтенный. Ранее команда трёхмачтовой шхуны состояла как минимум из 20 матросов, после её переделки в роторный корабль хватило 10 человек.

В 1926 году роторный «Букау» (переименованный в «Баден-Баден») прошёл через Атлантику. Для этого судно было переоборудовано в роторное судно с двумя «парусами» высотой 13 метров. Судно могло двигаться под углом 25 градусов к встречному ветру, что невозможно для классических парусников. С этими «парусами» судно успешно пересекло Атлантический океан, доказав перспективность такой конструкции.

В 1927 году Флеттнер обратился к авиации и сконструировал руль направления самолёта со вспомогательной поверхностью управления. Позже он усовершенствовал это изобретение, известное как руль направления Флеттнера или ротор Флеттнера, для судостроения.

В 1980-х годах более сложная форма турбопаруса была разработана французскими инженерами под руководством океанолога Жака-Ива Кусто. Наиболее успешно она применялась на судне «Алкиона».

В 1985 году французская некоммерческая организация «Команда Кусто» спустила на воду экспериментальное научно-исследовательское судно «Алсиона», оснащенное парой турбопарусов. Если верить данным с официального сайта организации, то «Алсиона» расходовала на 35% меньше топлива, чем похожее по размерам судно без парусов.

Первым современным коммерческим судном с роторными парусами стал E-Ship 1 от немецкой компании Enercon в августе 2008 года. Он оснащён 4 парусами высотой 25 метров

и диаметром 4 метра. Также активное использование роторных парусов можно встретить на пароме Viking Grace, 2012 года постройки.

Кроме того, компания Bound4blue в 2021 году оснастила всасывающими парусами два небольших испанских судна. В марте 2022 года она подписала соглашение с нидерландским судовладельцем Amasus Shipping на установку двух 17-метровых парусов на сухогруз Eems Traveler.

В 2017 году Royal Dutch Shell и Maersk решили выяснить, можно ли с помощью ветряной энергетики значительно сократить потребление топлива нефтяными танкерами. Для этого они вместе оборудуют танкер двумя турбопарусами и испытывают его, сообщает Financial Times. По результатам испытаний Компания Maersk объявила о планах оснащения пяти своих танкеров инновационной системой eSAIL, которая будет использовать энергию ветра для улучшения эффективности их движения. Установка системы на танкерах MR будет осуществляться в период их нахождения в сухом доке в 2025 и 2026 годах. На установку системы вспомогательного движения с использованием энергии ветра (WAPS) договор заключен с bound4Blue. Это соглашение стало крупнейшей сделкой bound4blue по WAPS на сегодняшний день.

Каждое судно будет оснащено четырьмя 26-метровыми установками, которые автоматически подстраиваются под преобладающие погодные условия для обеспечения оптимальной производительности.

Четыре из 20 готовых к использованию установок будут установлены на судах Maersk Tankers — «Maersk Tacoma», «Maersk Tampa», «Maersk Tangier», «Maersk Teesport» и «Maersk Tokyo». Это позволит добиться двукратного снижения расхода топлива и выбросов CO₂ на одно судно.

В рамках договора на танкерах MR будут установлены одобренных по типу судна всасывающих парусов eSAIL. Компания Maersk выбрала eSAIL в качестве предпочтительного решения для сотрудничества с Njord — катализатором «зелёных» технологий. Njord провёл оценку различных систем движения с использованием энергии ветра, чтобы обеспечить оптимальные экологические и коммерческие преимущества для целевых судов и их предполагаемых будущих операций. Njord будет курировать весь процесс проектирования и выбора технологий, а также управлять интеграцией и установкой систем. Кроме того, он будет подтверждать полученную экономию.

Система eSAIL создаёт подъёмную силу и повышает эффективность движения за счёт использования воздушного потока, проходящего через её аэродинамическую поверхность. Это приводит к значительному снижению расхода топлива и выбросов CO₂. Технология eSAIL®, установленная на судне, спроектирована таким образом, чтобы обеспечить высокую грузоподъёмность и максимальную экономию топлива при минимальных затратах.

Другие инициативы по повышению экологичности флота Maersk Tankers включают оптимизацию энергоэффективности с помощью аналитических инструментов, инвестиции в энергосберегающие устройства (ESD) и активное изучение альтернативных видов морского топлива, таких как метанол и аммиак.

Клаус Грёбборг, директор по инвестициям Maersk Tankers, отметил: «Чтобы танкерная отрасль могла развиваться в условиях энергетического перехода, необходимы конкретные инвестиции и действия. Мы в Maersk Tankers стремимся подавать пример, постоянно внедряя передовые энергоэффективные технологии для снижения расхода топлива и выбросов CO₂».

Более скромные результаты продемонстрировал нефтяной танкер «Maersk Pelican». В сентябре 2018 года на него установили два 42-тонных турбопаруса из стали и композитных материалов. Их высота — 30 метров при диаметре в 5 метров. Каждый из них при хорошем

ветре способен выдать до 300 кН тяги, что сопоставимо с двигателем современного авиалайнера.

В настоящее время компания «bound4blue» занимает лидирующие позиции на рынке турбопарусов. Они разработали инновационный всасывающий парус, который преобразует ветер в движущую силу для судна. Как говорится на главной странице их сайта: «Наше решение позволяет владельцам и операторам судов снизить негативное воздействие на окружающую среду, одновременно уменьшая затраты на топливо. Ведь «хорошо для планеты» может стать основой для процветания вашего бизнеса».

Система парусов, разработанная компанией, называется Wind-Assisted Propulsion Systems (WAPS), а сам парус — eSAIL®.

Поскольку торговые суда используют для движения тягу, создаваемую их главным двигателем, эти двигатели потребляют большое количество топлива. Это приводит к значительным расходам на топливо и высокому уровню выбросов загрязняющих веществ.

Системы движения, использующие энергию ветра (WAPS), используют энергию ветра для создания тяги. Это позволяет снизить необходимую тягу двигателя, а следовательно, уменьшить расход топлива и выбросы загрязняющих веществ.

Если WAPS эффективно используются для увеличения тяги вперёд при любых условиях плавания, можно достичь значительной экономии топлива и выбросов.

Турбопарус создаёт в шесть-семь раз большую подъёмную силу, чем обычный парус. Это означает, что он может обеспечить ту же движущую силу при в шесть-семь раз меньшей площади. При этом потребление энергии минимально, а механические сложности отсутствуют. Это обеспечивает простоту, безопасность и надёжность эксплуатации.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что турбопаруса имеют ряд особенностей и могут быть экономически выгодными при определённых условиях эксплуатации. И на данный момент это перспективная технология, которая имеет широкое применение и высокую эффективность, в результате чего уже внедряется и будет широко использоваться на флоте. В частности, они полезны на судах, где скорость перехода не так важна, как расход топлива, но при этом требуется более сложное механическое и навигационное оборудование. Это, в свою очередь, требует более высокой квалификации плавательного состава и, следовательно, более высокой оплаты труда, что совместно с затратами на установку агрегата вполне компенсирует уменьшение затрат на топливо. Но турбопаруса, несомненно, более экологичны и вполне могут найти свое применение при поддержке международных морских объединений и предоставления приоритета/послаблений судам с роторными парусами для сохранения экологической среды.

Список литературы:

1. Магнуса эффект // Лилль — Маммалогия. — М. : Советская энциклопедия, 1938. — (Большая советская энциклопедия : [в 66 т.] / гл. ред. О. Ю. Шмидт ; 1926 — 1947, т. 37).
2. Патент US4630997 на турбопарус.
3. Статья «Центральная комиссия по судоходству на Рейне разработала таблицу различных уровней автоматического управления речными судами: Электронная версия газеты "Российское судоходство». Режим доступа: <https://rus-shipping.ru/ru/flag/news/?id=38358> (дата обращения 08.03.2025)
4. Михненко Л.В. Авиационная ветроэнергетические устройства вихревого типа: монография/ Л.В. Михненко. — М.: РИО МГТУ ГА, 2014 - 96с.



5.Привет из 1920х: корабли под турбопарусами возвращаются на океанские просторы [Электронный ресурс] // URL: https://elektrovesti.net/63098_privet-iz-1920kh-korabli-pod-turboparusami-vozvrashchayutsya-na-okeanskie-prostory (дата обращения: 08.03.2025)

6.Роторный парус [Электронный ресурс] // URL: <https://www.vikingline.ru/find-trip/fleet/viking-grace/rotor/> (дата обращения: 08.03.2025)

7. Анна Красавцева. Возвращение энергии ветра в судостроение [Электронный ресурс] // URL: <https://sudostroenie.info/novosti/24621.html> (дата обращения: 08.03.2025)

