



Научно-исследовательское судно с роторными двигателями Жака Ива Кусто

РОТОРНЫЕ СУДА

Виктор Сергеевич Шитарёв,

капитан дальнего плавания

Государственный инспектор безопасности мореплавания и портового надзора

Эти суда имеют особое устройство в виде вращающихся башен (роторов), которые позволяют более рационально использовать основную энергию для их движения - ветер. Роторные суда могут иметь от одного до четырёх роторов, которые вращаются вспомогательным двигателем. Как видно из рисунка, суда могут ходить всеми курсами относительно ветра и лавировать. Однако они имеют два существенных недостатка:

- для движения судна необходимо вращение его роторов, а, следовательно, двигатель и запас топлива для его работы;

- судно должно лавировать при движении не только против ветра, как видно из рисунка, но и при плавании с попутными ветрами.

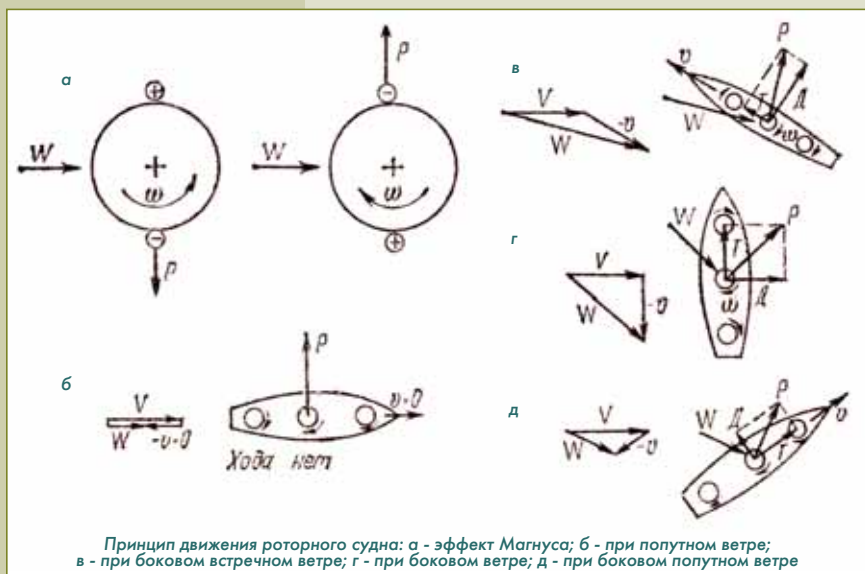
На рисунке изображены, схематично, направление вращения роторов (их угловая скорость ω); V - вектор ветра; v - вектор скорости судна; W - вектор воздушного потока на ротор (образуется в результате сложения двух векторов - V и v); P - вектор силы, возникающей при взаимодействии потока воздуха и вращающегося ротора (эффект Магнуса); T - проекция вектора P на ось судна; D - проекция силы P в направлении, перпендикулярном к оси судна. Вектор силы P всегда перпендикулярен к направлению набегающего потока воздуха W , а его направление зависит от направления вращения ротора ω .

перспективные типы ветроходов. Теперь совершим небольшой экскурс в историю. В 1924 году французский инженер Константен, воскрешая идею XVIII века, предложил применить ветродвигатели для движения судов. Движение вала ветродвигателя можно передавать с помощью трансмиссии, имеющей двойную угловую зубчатую передачу и валы, на обычный гребной винт, движущий судно. Если многие проекты судов до сих пор были и в будущем, вероятно, останутся мыслями, идеями, то упорство и вера, с которыми осуществлены проекты одних из самых оригинальных судов прошедшего века - роторных, ещё продолжают удивлять и привлекать к ним внимание.

Роторы А. Флетнера. Итак 6 октября 1924 года на рейде порта Киль появилось необычное судно, не большое и не быстроходное. Над его палубами в носовой и кормовой части возвышались две огромные трубы, между которыми в районе миделя была установлена ажурная мачта. Собравшиеся на берегу люди задавали себе один вопрос - почему эти мощные трубы не дымят? И вообще - трубы ли это? Скорее, судя по внешнему виду это ни то колонны, не то башни. К тому же ещё оказалось, что они довольно быстро вращаются. Трубы вращаются, судно движется, а парусов нет! Странно, не правда ли? Вот так было воспринято современниками появление на рейде Киля первого в мире роторного судна спроектированного и построенного Антоном Флетнером и названного "Букау".

Идея заменить сложную, дорогую и быстро изнашивающуюся, паутину из тросов бегучего и стоячего такелажа парусника достойной альтернативой давно зрела в уме А. Флетнера. Несмотря на то, что парусное вооружение постоянно совершенствовалось, но ему на смену уверенно шли паровые машины и двигатели внутреннего сгорания (ДВС). К тому же, для работы с парусами на паруснике было необходимо иметь многочисленную и высоко квалифицированную палубную команду, которая в течении всего рейса напряжённо работала с парусами. Понимая преимущества использования энергии ветра, А. Флетнер решил необычным путём избавиться от недостатков, присущих парусным судам.

Во времена первой мировой войны он хорошо изучил преимущества авиационных профилей и решил заменить обычный паруса парусами типа авиационного крыла, поставленного вертикально. Такой парус должен был быть изготовленным из металла, предпочтительно, алюминия, который в те времена был не дешёв. По сравнению с обычным, парус жёсткой конструкции имел площадь на 20...30 % мень-



Принцип движения роторного судна: а - эффект Магнуса; б - при попутном ветре; в - при боковом встречном ветре; г - при боковом ветре; д - при боковом попутном ветре

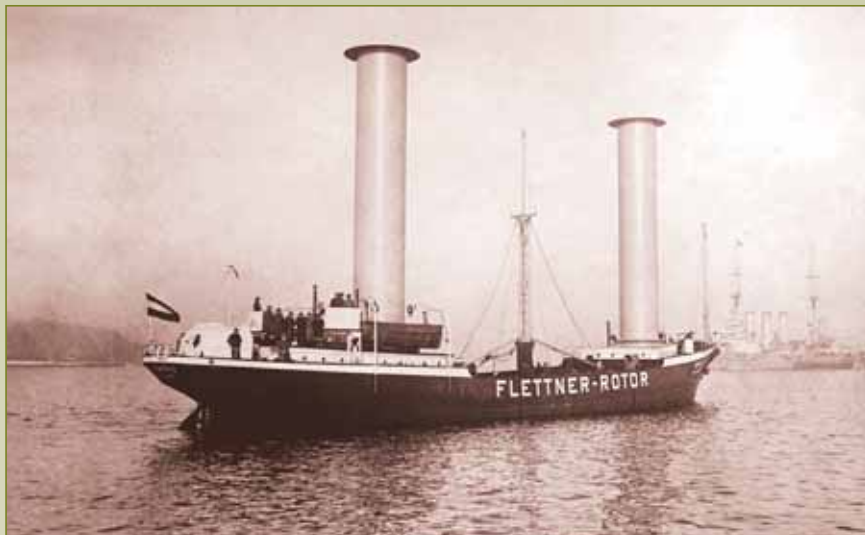
По ряду объективных причин после постройки нескольких опытных судов дело не пошло, и в настоящее время роторные суда не рассматриваются как

шую, чем у обычного паруса. Установка такого паруса в нужное положение должна была осуществляться обычным рычагом. Но здесь "всплыла" другая проблема. При усилении ветра на паруснике легко можно было уменьшить площадь парусности "взяв рифы" (зарифить паруса), а вот "зарифить" металлическое крыло - более чем проблематично. Во всяком случае, решить эту проблему А. Флетнеру с помощью автоматически действующих приборов и механизмов, разворачивающих крыло в нужное положение при штормовом ветре, так и не удалось. Поэтому он продолжал поиски способа уменьшения площади парусности и обеспечения остойчивости судна в штормовых условиях.

В 1923 году, брат Антона Флетнера, Андрей, познакомил его с опытами, проводившимися в то время аэродинамическим экспериментальным институтом Гёттингенского университета под руководством доктора Л. Прандтля. Опыты над пограничным потоком, осуществлявшимися им с 1904 года, работы Лафе, опубликованные в 1912 году, привели доктора к изучению давно забытого эффекта Магнуса и позволили получить весьма обнадеживающие результаты, которыми заинтересовался А. Флетнер. Проведя ещё несколько экспериментов на лодке с крылом на озере Ванзее под Берлином, А. Флетнер решил отдать предпочтение вращающимся цилиндрам - роторам. К тому времени было установлено, что сила, действующая на ротор, зависит от отношения окружной скорости к скорости ветра, а при постоянном соотношении этих скоростей сила пропорциональна квадрату скорости и площади вертикального сечения цилиндра. Вначале приступили к разработке проекта судна с тремя роторами, каждый из которых состоял из вертикальных вращающихся цилиндров с натянутой между ними полосой мягкого материала и узкого вертикального стабилизатора. Из-за сложности от этого проекта пришлось отказаться.

После заключения соглашения с институтом были проведены модельные испытания роторного судна. На основании результатов исследований был разработан проект по переделке трёхмачтовой шхуны "Букау". Её парусность площадью 833 м² заменили два ротора, и шхуна на верфи "Германия" превратилась в роторное судно, вызвавшее столь заметный интерес у обитателей Кильского порта. Позднее её переименовали в "Баден-Баден". Если судно с одним ротором - "Флетнер-яхт" - имело недостаточную маневренность, то судно "Баден-Баден" могло неплохо лавировало, но не столь уверенно как, например, парусник с прямыми парусами. Зато роторное судно могло, при необходимости, дать задний ход - что для обычного парусника невозможно.

Приведём некоторые характеристики "Баден-Бадена": длина 45 м; ширина 9 м; осадка 3,6 м; водоизмещение 900 т. Его роторы имели диаметр 2,8 м; высоту - 15,6 м и были изготовлены из листовой стали толщиной - 1...1,5 мм; они были установлены на специальных опорах. Скорость их вращения на испытаниях достигала 144 оборота в минуту, тангенциальная скорость достигала 17,6...21,12 м/с. Привод для вращения роторов имел мощность 33 кВт; а двигатель обеспечивающий судну скорость хода скорость хода 7,5 узла - дизель - 88 кВт. Роторы вращали, расположенные в них, два электромотора. Регулировка скорости и направления их вращения осуществлялась оператором с мостика. Таким образом, преимущества роторного судна перед парусни-



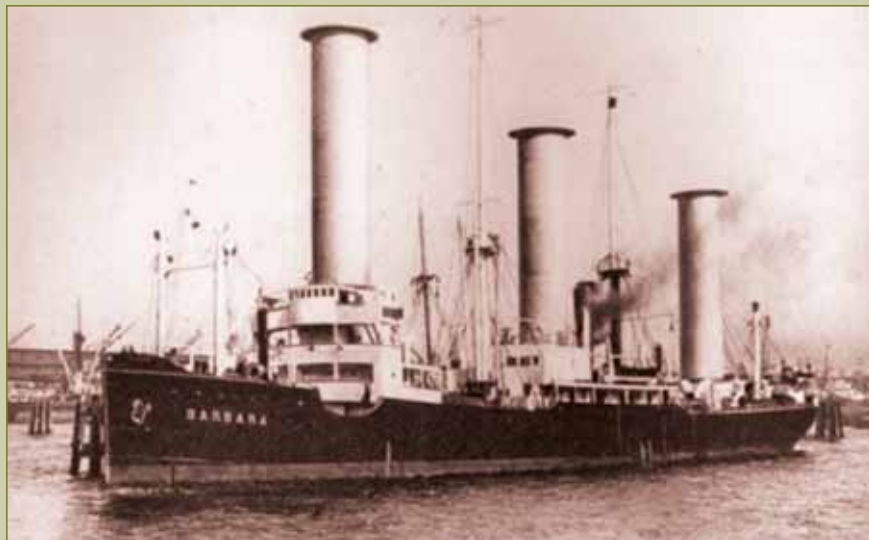
Первое в мире роторное судно "Букау"

ком аналогичных размерений в том, что площадь роторов была меньше, чем площадь парусности; возможность плавать при сильных штормовых ветрах (брать рифы на парусах нет необходимости, на судне их просто нет); управление всем комплексом может осуществлять один оператор.

Будучи человеком энергичным А. Флетнер, не дожидаясь окончательных результатов испытаний судна "Баден-Баден", находит заказчика на специальное судно с тремя роторами. На этом судне он обещает сэкономить на судовой энергетической установке, используя в ней вместо двух только один дизель. Пока шли переговоры о строительстве нового судна в ноябре 1924 - январе 1925 гг., проведённые испытания показали, что скорость "Баден-Бадена" при курсе 25 градусов к вымпельному ветру (такой курс ещё называют "крутой бейдевинд") составила 4,36 узла; при 45 градусах - 7,5 узла; при 60 градусах - 7,75 узла; при 120 градусах - 8,2 узла.

Результаты испытаний первого судна послужили дополнительным толчком при проектировании нового судна. Его судовладелец Р.М. Сломан, фирма Флетнера при поддержке правительства и совместно с судоверфью "Везер" разработали в 1925 году проект нового судна "Барбара". Оно имело длину 89,5 м; ширину 13,2 м; высоту борта 5,795 м; дедвейт (полная грузоподъёмность) 2830 т при осадке 5,4 м. Два дизеля общей мощностью 780 кВт обеспечивали скорость хода 10 узлов. Предполагалось, что при необходимости, судно может быть использовано в качестве военного транспорта. В этой связи становится понятным, что вопросу экономии топлива и увеличения автономности уделялось особое внимание при установке роторов в качестве вспомогательных движителей. По своей архитектуре судно мало отличалось от подобных обычных судов, за исключением самих роторов.

Роторы располагались на носовой и средней рубках и переборке между трюмами № 3 и № 4 так, что носовой ротор был выше среднего, а средний - выше кормового. Диаметр каждого ротора был 4 м; высота 17 м; масса 4 т. Общая площадь их проекции равнялась 204 м². Отношение окружной скорости к скорости ветра принято равным 3,5. При силе 118 000 Н, возникшей на роторах, скорость судна достигала 9,2 узла. Материалом для изготовления роторов послужил дюралюминий со сложным набором внутри и примерно на одну треть и две трети своей высоты роторы опирались на подшипники. Как и на "Баден-Бадене", каждый ротор снабжался концевыми



"Барбара"



шайбами для уменьшения индуктивных потерь. Двигатель постоянного тока мощностью 33 кВт раскручивал ротор до 160 оборотов в минуту, но рабочая скорость не превышала 140 оборотов в минуту.

Ходовые испытания, проводившиеся 16, 24, 28 и 30 июля 1926 года, показали, что при работе машин скорость без роторов достигала 9 узлов, а при работающих роторах и частоте их вращения 150 оборотов в минуту, при неработающих главных двигателей на курсе бакштаг - 9 узлов в условиях 6...7 бальной ветра. При работе обеих дизелей и частоты вращения роторов 130 оборотов в минуту была достигнута скорость хода 10,5 узла (ветер силой 6...7 баллов по шкале Бофорта). При работе одного дизеля и частоте вращения роторов 130 оборотов в минуту была достигнута скорость хода 9,5 узла.

Весной того же года "Баден-Баден" отправился в Нью-Йорк, но за океаном должного внимания со стороны морских специалистов, кроме вежливого удивления, не удостоился. В 1928 году судно было продано в США, а после демонтажа роторов, было продано в Панаму, а позднее - Коста-Рику.

"Барбара" в 1926 году сделала один рейс в Средиземное море, далее как плавало судно до 1932 года - сведения отсутствуют. В 1932 - 1933 гг. "Барбара" стояла на приколе. Роторы были демонтированы, и она стала обычным транспортным судном торгового флота. После второй мировой войны судно было переименовано и продолжало плавать под именем "Елсе Скоу" у датских судовладельцев. Модернизированное в 1949 году оно имело скорость хода 12 узлов, неплот-



Яхта Флетнера

хо для транспорта. Затем его продали в Грецию, где оно продолжало плавание под названием "Сотис 11".

Итак, подводя итог, констатируем, что идея А. Фленера о строительстве роторных судов в морском торговом судоходстве существенной поддержки не получила, хотя проработки по их эксплуатации в условиях торгового мореплавания были. Роторы оказались слишком громоздки и создавали судну большое лобовое сопротивление при плавании в бейдевинд. Например, "Барбара" при работе обеих машин и 4-бальном встречном ветре развивала скорость хода около 6 узлов, если же она шла лавируя против ветра, то при смене галсов приходилось изменять и направление вращения роторов. При плавании в фордевинд скорость уменьшалась в 4 раза, и судно начинало испытывать бортовую качку, которая была сильнее, чем у парусника такого же водоизмещения. Не будем забывать, что на вращение роторов расходуется не менее 10...15 % мощности всей главной энергетической установки судна. Кроме того, роторы занимают слишком много места и они не могут быть установлены на всех типах коммерческих судов, например, на пассажирских. Оказалось несомненным только одно их достоинство - лёгкость управления роторами, которое принято называть "кнопочной".

Спустя 40 лет учёный Института судостроения Гамбургского университета Б. Вагнер убедительно доказал, что роторное судно во многом уступает парусному. Исследуя применение роторов на современных судах длиной около 150 м (2 ротора высотой по 75 м над уровнем воды при диаметре 12,5 м) доктор Д.Ж. Велликам пришёл к выводу, что роторы можно использовать лишь в качестве вспомогательных двигателей для снижения мощности судовой ЭУ или расхода топлива, поскольку мощность частично расходуется на вращение роторов. Эта мощность условно ограничена 50 % мощности, необходимой для движения теплохода со скоростью 9 узлов. Такая мощность обеспечивается при ветре силой 8 баллов и скоростью 23 узла.

Не смотря на все выявленные недостатки роторных судов англичанин С. Бэррон предложил свой проект роторного балкера (судно для перевозки сыпучих грузов в трюмах насыпью - руда, каменный уголь и т.п.). Такие перевозки можно будет осуществлять на судах, специализирующихся на перевозке любых грузов, если на их главной палубе будет достаточно места для установки роторов. Для перестройки может, например, подойти балкер средней грузоподъёмности "Марк 3" датской фирмы "Бурмейстер ог Вайн" класса ПАНАМАКС, отличающийся высокой экономичностью в эксплуатации. Расход топлива этим балкером, по сообщению фирмы, на 30 % меньше, чем на аналогичных судах. Секрет такой экономии достигается совершенством обводов прогуженной части корпуса; удачным подбором гребного винта и; наконец, прекрасными эксплуатационными качествами дизелей, выпускаемых фирмой "Бурмейстер ог Вайн".

Судно имеет следующие характеристики: длина наибольшая 226 м (между перпендикулярами - 213 м); ширина 32,32 м; высота борта 18 м; осадка средняя 13,1 м; дедвейт (максимальная или полная) грузоподъёмность 63 800 т; мощность главного двигателя 8750 кВт (11 888 л.с.); скорость полного хода 16 узлов (29,6 км/ч); расход топлива в сутки 46 т.

Установка роторов производится в Диаметральной плоскости судна (ДП) над водонепроницаемыми переборками грузовых трюмов; крышки которых открываются в сторону наружного борта. Необычного

Современное роторное судно E-SHIP-1 на рейде Кёльна



вида носовая рубка должна защищать носовой ротор от ударов штормовых волн. Высота каждого (всего их три) ротора 53,5 м; диаметр - 12,5 м; роторы изготовлены из алюминиевых сплавов и устанавливаются на стальном внутреннем полоне; вращение ротора обеспечивается электродвигателем, питающемся от дизель генератора мощностью 550 кВт. Скорость вращения ротора регулируется автоматически в зависимости от силы ветра в качестве датчика скорости ветра задействован анемометр. Давление на вращающемся роторе при собственной скорости вращения, в 3,5 раза превышающей скорость ветра, и скорости ветра 8 м/с составляет 35 000 Н, что, приблизительно в 30 раз больше, чем на неподвижном роторе.

Принцип использования роторов, предлагаемый автором проекта, такой. Принимаемая скорость судна в 16 узлов (29,6 км/ч) за постоянную при благоприятном ветре, когда роторы способны повысить тягу, мощность главной энергетической установки (ГЭУ) можно уменьшить. Сила сопротивления окружающей среды движению судна достигнет 1 170 000 Н (без учёта сопротивления гребного винта, но с учётом сопротивления неподвижных роторов).

Роторы спроектированы так, что в случае идеальных погодных условий обеспечивают судну скорость хода 16 узлов при ветре силой 8 м/с и скорости вращения ротора 42,5 оборота в минуту (общая тяга составит не менее 1 090 000 Н). Нагрузка в 354 000 Н на стационарный ротор не будет опасной до силы ветра 51,5 м/с (напомню, что по Шкале Бофорта ветер силой более 29 м/с классифицируется как ураган). Однако, необходимо обеспечить прочность ротора для скорости, которая в 1,5 раза больше приведённой. В расчётах скорости принимались во внимание особенности плавания носом на волну и в фордевинд, но не учитывались условия плавания курсами, рекомендованными для парусных судов.



Так, по представлению энтузиастов роторного движителя будет выглядеть круизное судно

Рейсы рассчитывались по картам Метеорологического атласа Бартоломью и аппроксимацией по силе и направлению ветров для каждого рейса. Расписанием предусмотрена эксплуатация судна в течение 252 дней (из них 30 % - плавание в балласте), в течение которых оно проходит 96 520 миль между основными портами США, Японии, Австралии, Чили, Африки и Северной Европы. С. Бэррон был уверен, в конце XX века роторные суда появятся на современных морских путях. Однако этого не произошло, хотя стоимость роторов значительно ниже аналогичного парусного вооружения. Совсем списывать эти суда тоже не хочется, ведь роторы - это пока единственные движители, которые можно устанавливать на существующие суда без каких-либо их существенных переделок, а стоят они почти в 2 раза дешевле традиционного парусного вооружения.



Современный вариант роторной яхты