



Компоновочные схемы водных и воздушных судов с вихревыми двигателями



Николай ОСТРОУХОВ
Nikolai N. OSTROUKHOV

Екатерина ЧУМАКОВА
Ekaterina V. CHUMAKOVA



Остроухов Николай Николаевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры теоретической электротехники Московского авиационного института (национальный исследовательский университет) (МАИ), Москва, Россия.

Чумакова Екатерина Витальевна — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры компьютерной математики МАИ, Москва, Россия.

Layout Diagrams of Water Vessels and Aircrafts with Vortex Propulsion Units

(текст статьи на англ. яз. — English text of the article — p. 46)

Разработаны компоновочные схемы и выполнены расчётно-теоретические оценки диапазонов эксплуатационных параметров водных и воздушных (дирижаблей) судов с вихревыми двигателями. Представлено комплексное сопоставление характеристик таких судов и судов тех же классов традиционной раздельной компоновки «корпус—двигатель». Показана возможность схемы на основе группы однотипных модулей в виде надводных судов с двумя генераторами вихревых пар семейства плавсредств принципиально нового типа — самодостаточных многоцелевых комплексов с практически неограниченным сроком автономного функционирования в произвольной незамерзающей акватории Мирового океана. Установлено, что по всем параметрам, кроме скорости, суда с вихревыми двигателями обладают преимуществами перед своими конкурентами.

Ключевые слова: вихревые двигатели, водные и воздухоплавательные суда, надводное судно, подводное (тороидальное) судно, массогабаритные характеристики, схемы компоновки, эксплуатационные параметры.

В [1–5] описаны принципиальные компоновочные схемы водных и воздушных судов с вихревыми двигателями, гидродинамика вихревой пары и способы её генерации, принцип использования генераторов вихревых пар в качестве судовых двигателей при одновременном обеспечении ими плавучести всего судна.

Основные преимущества судов с вихревыми двигателями обусловлены отсутствием лобового сопротивления у движущейся в сплошной среде (воде, воздухе) вихревой пары, в объёме которой находятся инициирующие её генераторы, а в некоторых случаях [4] и само судно. Отсутствие лобового сопротивления объясняет чрезвычайно малую мощность, необходимую для движения судов с вихревыми двигателями в установившемся режиме.

Сравнение же судов с вихревыми двигателями с судами традиционной компоновки по другим параметрам, не связанным с энергопотреблением, чаще всего проблематично из-за несопоставимости их конструктивных особенностей.

Представляется, что для содержательной оценки преимуществ различных схем сле-

Таблица 1

Сравнительные характеристики танкеров

Судно	Водоизмещение, тонн	Габарит, м ²	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	
				Устан.	Манёвр.
Нефтеналивной танкер «Knock Nevis» [6]	657018	458 х 68, осадка с полной загрузкой 24 м	21,1	36775	36775
Танкер на основе модулей с вихревыми движителями	630000	760 х 150, осадка с полной загрузкой 20 м	33	6	5600

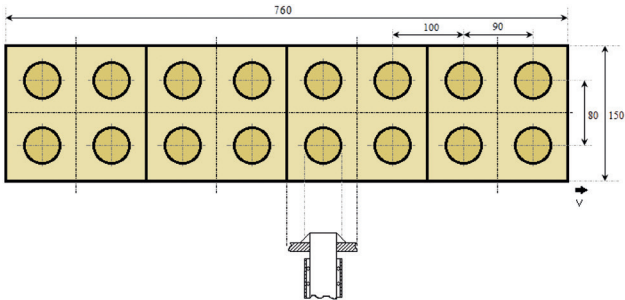


Рис. 1. Схема компоновки наливного танкера, образованного четырьмя секциями на основе двух пар генераторов вихревых пар (размеры в метрах).

дует сопоставлять не отдельные параметры, а максимально полную совокупность эксплуатационных и конструктивных характеристик судов, близких по некоторым интегральным параметрам, например, по водоизмещению или назначению.

Цель наша соответственно и состояла в таком сопоставлении совокупностей эксплуатационных и массогабаритных характеристик водных и воздушных (дирижаблей) судов традиционной раздельной компоновки «корпус—двигатель» и судов с вихревыми движителями, принципиальные схемы которых даны в [2].

Кроме того, в работе обосновываются возможности реализации на базе определённого количества (10–50 штук) автономных надводных судов с вихревыми движителями идеи плавсредства принципиально нового класса — мультимодульного и многоцелевого, способного обеспечивать длительное (год и более) функционирование в Мировом океане.

1. Надводные суда большого и сверхбольшого водоизмещения

Крупнейшими надводными судами в настоящее время являются наливные танкеры и авианосцы. Ниже представлены принципиальные схемы судов с вихревыми движителями подобного назначения и проведено сравнение некоторых их эксплуатационных характеристик с параметрами судов традиционной компоновки.

1.1. Наливные танкеры

В 1976 году в Японии построен и эксплуатировался до 2010 года нефтеналивной танкер «Knock Nevis» водоизмещением 657018 тонн (дедвейт — 564763 тонн), габариты которого 458х68 м² при осадке (с полной загрузкой) 24 м.

Принципиальная схема танкера близкого водоизмещения с вихревыми движителями представлена на рис. 1. Его основой являются четыре идентичные секции, каждая из которых имеет две пары генераторов вихревых пар, выполненных в виде пустотелых цилиндрических роторов диаметром 50 м и высотой 22 м.

При осадке 20 м водоизмещение такого судна составляет:

$$V = 16\pi r^2 h \approx 630 \cdot 10^3 \text{ м}^3 \text{ тн.}$$

Межосевое расстояние роторов (поперёк судна) — 80 м, между парой роторов вдоль судна — 90 м, между парами роторов соседних секций — 100 м. Габариты судна: длина (между наружными образующими первого и восьмого роторами) — 760 м, ширина — 150 м.

Маневрирование судов с вихревыми движителями реализуется достаточно просто, однако оно существенно энергозатратнее по сравнению со штатным режимом функционирования [2]. Для привода ротора (с блоком выдвижных маневровых лопаток) используется двигатель большей мощности — приводной маневровый дви-



Сравнительные характеристики авианосных платформ

Судно	Водоизмещение, тонн	Габарит, м ²	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	
				Устан.	Манёвр.
Авианосцы класса «Nimitz» [7, 8]	100000	330x75	56	194000	194000
Авианосная платформа на основе модулей с вихревыми движителями	315000	600x150	33	2,5	3200

гатель, при движении в установившемся режиме обеспечивающий внутренние потребности, в частности функционирование внутреннего оборудования судна.

1.2. Авианосные платформы

Важнейшей характеристикой авианосного судна является размер взлётно-посадочной палубы (ВПП). У современных крупнейших авианосцев ВПП имеет площадь порядка 330x75 м² (при водоизмещении около 100 тыс. тонн) [7, 8], что диктует необходимость использования весьма сложных стартовых катапульт и посадочных тормозных систем.

Суда вихревой схемы позволяют сравнительно просто обеспечить ВПП значительно больших размеров, например, 600x150 м².

Для краткости оценка параметров выполнена для судна, подобного рассмотренному в предыдущем пункте, но с высотой роторов 12 м при номинальной осадке 10 м, то есть водоизмещением в три раза большим (315 тыс. тонн). При сохранении ходовых качеств предыдущего типа судов потребляемая мощность оказывается меньше вследствие уменьшения высоты роторов.

Представленные оценки свидетельствуют, помимо прочего, о том, что надводные суда с вихревыми движителями не имеют принципиальных ограничений на массогабаритные характеристики, существующие для судов традиционной компоновки того же назначения.

Действительно, вариант компоновки танкера (рис. 1) вполне допускает увеличение водоизмещения как простейшим наращиванием количества секций по продольной оси, так и параллельной пристыковкой второй и следующих групп секций. Аналогично можно увеличить размеры взлётно-посадочной полосы авианосной платформы.

Крупные многосекционные суда целесообразно компоновать с возможностью стыковки-расстыковки секций автономными приводными двигателями при жёстком или шарнирном соединении их надводных частей. Расстыковка сверхбольших судов может упростить им маневрирование и прохождение ограниченных фарватеров.

1.3. Мультимодульное судно-трансформер

Независимость ходовых качеств судов с вихревыми движителями от конфигурации и габаритов надстройки, целиком располагающейся вне воды, открывает возможность разработки транспортных средств, не имеющих аналогов среди судов традиционной компоновки. Варьирование конфигурации надстройки и комбинации сочетания группы судов позволяет сравнительно легко построить плавучие средства, пригодные для решения разнообразных технических задач на водной поверхности.

На рис. 2 представлены план-схемы двух вариантов многоцелевых мультимодульных судов-трансформеров.

На рис. 2а показана схема компоновки судов на основе специализированного центрального модуля 1 большого водоизмещения и группы модулей (≈ 10 штук) меньших размеров (судно 2), выполняющих вспомогательные функции как будучи состыкованными с судном 1, так и в режиме автономного функционирования.

На рис. 2б расположена группа взаимно аналогичных судов, способных функционировать как отдельно, так и в комплексе, будучи состыкованными в единый комплекс, в данном случае с формированием плавучего стартового комплекса.

Необходимым и достаточным условием реализации описанной схемы мультимодульного судна-трансформера является соответствие двух конструктивно-эксплуатационных характеристик отдельных модулей:

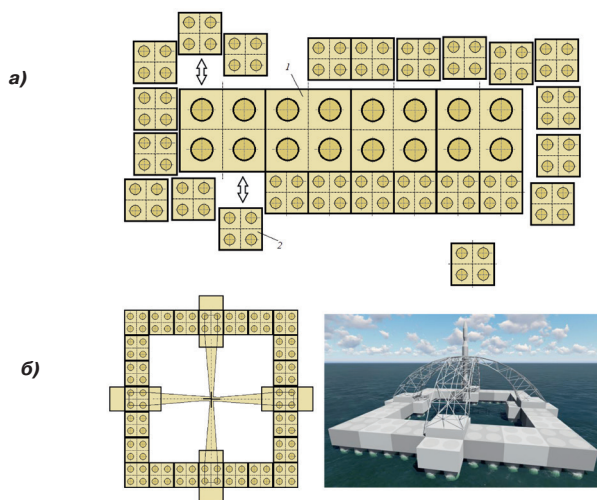


Рис. 2. Схемы реализации идеи мультимодульных судов:
а – схема с центральным базовым модулем; б – принципиальная схема плавучего стартового комплекса.

• во-первых, все модули, используемые в режиме соединённого комплекса, должны иметь варианты реализации одинаковых скоростей движения их вихревых пар, т.е. для всех модулей должен иметься режим генерации вихревой пары, при котором совпадают величины

$$\frac{\Gamma_i}{2\pi l_i} = \frac{\Gamma_j}{2\pi l_j},$$

где $\Gamma_i = 2\pi\omega_i a_i^2$ – циркуляция скорости воды на поверхности генерации ротора, l_i – межосевое расстояние;

• во-вторых, надстройки всех модулей (палубы) должны иметь устройства сцепления и жёсткого или шарнирного соединения модулей в единый комплекс с общей надстройкой (палубой).

Оптимальным вариантом отдельного модуля представляется судно водоизмещением 10–20 тыс. тонн с двигателем на основе генераторов двух вихревых пар, т.е. четырёх роторов диаметром 15–20 м при осадке ≈ 10 м. Форма палубы (платформы) такого судна представляет собой квадрат со стороной примерно 50 м.

В автономном режиме такие суда могут выполнять ряд функций в интересах всего комплекса:

- осуществлять транспортную связь комплекса с береговыми базами;
- проводить разведку акватории (например, рыболовную);
- участвовать в действиях, требующих синхронности на значительной акватории (большой площади).

На рис. 2б показана принципиальная схема плавучего стартового комплекса ракет-носителей, формируемого из однотипных надводных судов с одной парой генераторов вихрей.

На подготовительных этапах отдельные модули комплекса могут функционировать в автономном режиме. Для старта ракеты они состыковываются, образуя замкнутый контур, внутри которого остаётся открытая водная поверхность. На двух или четырёх расположенных друг против друга модулях монтируется кронштейн-держатель ракеты. При старте ракеты её выхлопная струя воздействует именно на открытую поверхность воды, а не на само судно, как это происходит в используемых ныне схемах [9, 4].

2. Подводное судно с генератором вихря типа «термик»

Подводные суда с вихревыми движителями имеют принципиально отличную от традиционных судов форму корпуса в виде тора [4]. Внешняя оболочка тороидального корпуса, установленная с возможностью вращения вокруг общей оси тора, выступает в роли движителя. В установившемся режиме оболочка движителя, вращаясь, поддерживает существование в среде (воде или воздухе) тороидального вихря, который создаёт в окружающей среде специфическое течение с непрерывным распределением скорости среды. Это соответствует постоянству по радиусу завихрённости потока, так что во всей области течения, в том числе на поверхности судна, отсутствуют скачки



Таблица 3

Сравнительные характеристики авианосных платформ

Судно	Водоизмещение, тонн	Габарит, м ²	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	
				Устан.	Манёвр.
Из 23 модулей	490000	650 х 300	33	6	4800
Из 36 модулей	715000	800 х 300	33	8,9	7000
Из 56 модулей	970000	950 х 450	33	12,9	9400

Таблица 4

Сравнительные характеристики подводных судов

Судно	Водоизмещение, тонн	Глубина, м	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	
				Устан.	Манёвр.
Подводная лодка «Акула» [10]	48000	500	46,3	73550	73550
Подводное судно с генератором вихря типа «термик»	49000	100	160	150	600
		300	280	400	1500
		500	360	650	2500

скорости, что обуславливает отсутствие лобового сопротивления, связанного со скоростным напором набегающего потока.

При этом водоизмещение подводного тороидального судна с радиусом оболочки 10 м и радиусом осевой линии 25 м:

$$V = 2\pi^2 r^2 R \approx 49 \cdot 10^3 \text{ тн},$$

где R – радиус осевой линии тора, r – радиус оболочки.

На разной глубине судно такой конструкции может развивать разную максимальную скорость [1], которую можно оценить, используя следующее выражение:

$$v_{max} = 15\sqrt{0,1L} \frac{r}{R},$$

где L – глубина погружения судна.

3. Тороидальный дирижабль

Схема компоновки и принцип работы движителя воздушного судна практически не отличается от предыдущего, разница лишь в среде перемещения (вода или воздух). Получая принципиально новую конструкцию движителя, тороидальный дирижабль сохраняет традиционные элементы конструкции: оболочку для размещения газа легче воздуха под давлением и приводные двигатели.

Тороидальный дирижабль с радиусом оболочки 15 м и радиусом осевой линии 40 м имеет объём оболочки: $V \approx 180 \cdot 10^3 \text{ м}^3$, соизмеримый по величине с объёмом самого большого в истории дирижабля «Hindenburg» (таблица 5).

Скорость тороидального дирижабля при предельно допустимой линейной скорости вращения оболочки, инициирующей вихрь, равной скорости звука в воздухе ($a \approx 330 \text{ м/с}$), однозначно определяется отношением радиусов оболочки r и осевой линии R:

$$v_{max} = ka \frac{r}{R},$$

где k – некоторый коэффициент, меньший единицы, учитывающий неравенство линейных скоростей поверхности оболочки и соответственно прилегающего слоя воздуха, определяющий завихрённость инициируемого вихря Г.

Мощность, потребная для движения в установившемся режиме, пропорциональна произведению r и R, а объём оболочки пропорционален произведению r² и R. Поэтому при мощности, потребной для установившегося движения тороидального дирижабля, равной мощности приводных двигателей дирижабля «Hindenburg», оболочка роторного дирижабля может иметь объём в восемь раз больший приведённого в таблице 5, т.е. $\approx 1,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

Выводы

1. Выполнены анализ компоновочных схем и расчётно-теоретические оценки диапазонов эксплуатационных параметров водных и воздушных (дирижаблей) судов с вихревыми движителями. Определены области судостроения, где преимущества

Сравнительные характеристики дирижаблей

Судно	Объём, м ³	Мак. высота полётов, м	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	
				Устан.	Манёвр.
Дирижабль «Hindenburg» [11]	190000	1000	130	3200	3200
Тороидальный дирижабль	180000	1000	~315	850	4000

судов с вихревыми движителями по сравнению с судами традиционной компоновки «корпус—двигатель» наиболее существенны.

2. Показана возможность создания на основе ансамбля однотипных модулей (секций) с двумя генераторами вихревых пар плавсредств принципиально нового класса — многоцелевых плавучих комплексов с практически неограниченным сроком автономного функционирования в произвольной незамерзающей акватории Мирового океана (таких, как плавучий стартовый комплекс космических ракет-носителей, автономный рыбопромысловый и рыбоперерабатывающий комбинат, океанографический исследовательский комплекс, распределённые (многопозиционные) радиолокационные и астрофизические комплексы и др.).

3. Применительно к судам существующих классов установлено, что по всем параметрам, кроме скорости, суда с вихревыми движителями обладают преимуществами по сравнению с судами традиционной раздельной компоновки «корпус—двигатель», а именно:

- надводные суда с вихревыми движителями являются абсолютно устойчивыми, поскольку при проектной комплектации и загрузке их центр тяжести находится ниже ватерлинии, и, кроме того, судовые размеры по горизонтали превышают (иногда в разы) размеры по вертикали, что в принципе исключает опрокидывание или переворот (оверкиль) судна;

- поскольку ходовые качества судов с вихревыми движителями определяются лишь параметрами генераторов вихревых пар, их надводная часть (надстройка) допускает произвольную компоновку в широком диапазоне массогабаритных характеристик, открывает возможность постройки судов известных классов с параметрами,

значительно превышающими параметры существующих;

- при сопоставимых массогабаритных характеристиках суда с вихревыми движителями в установившемся режиме потребляют мощность на 7–9 порядков меньшую, чем суда традиционной компоновки;

- тороидальные подводные суда с вихревыми движителями в виде вращающейся наружной оболочки имеют меньшую по сравнению с традиционными подводными лодками шумность при большей на значительных глубинах допустимой скорости, возрастающей пропорционально квадратному корню глубины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В. Вихревые движители водных и воздушных судов // Мир транспорта. — 2016. — № 6. — С. 86–91.
2. Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В. Инженерия и моделирование оптимального маневрирования судов с вихревыми движителями // Мир транспорта. — 2017. — № 5. — С. 14–21.
3. Недоруб С. А., Остроухов Н. Н. Двигатель транспортного средства. Патент № 1533948, СССР. Заяв. № 4286395/27–11 от 17.07.1987. Оpubл. 07.01.1990. Бюл. № 1. [Электронный ресурс]: http://www.findpatent.ru/img_show/6956744.html. Доступ 03.08.2018.
4. Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В. Подводное или воздушное (дирижабль) судно. Заявка на изобретение № 2017122033 от 22.06.2017.
5. Седов Л. И. Механика сплошной среды. — М.: Наука, 1970. — Том 2. — 568 с.
6. Сергеев А. Чёрная вертикаль // Вокруг света. — 2016. — № 11. — С. 88–89.
7. Fontenoy P. E. Aircraft carriers: an illustrated history of their impact. ABC—CLIO Ltd 2006. — 349 p.
8. Аксёнов В. Атомные авианосцы типа «Нимиц» // Зарубежное военное обозрение. — 1995. — № 10. — С. 43–51.
9. Патент РФ 2415047, МПК В63В 35/44 (2006.01), Е 02В 17/00 (2006.01). Оpubл. 27.03.2011. Бюл. № 9 [Электронный ресурс]: <http://www.freepatent.ru/images/patents/45/2415047/patent-2415047.pdf>. Доступ 03.08.2018.
10. Овечкин Э. А. Акулы из стали. — М.: АСТ, 2016. — 320 с.
11. Dick H. G., Robinson D. H. The golden age of the great passenger airships Graf Zeppelin and Hindenburg. — Washington, D.C.; London: Smithsonian Institution Press, 1985. — 226 p.

Координаты авторов: **Остроухов Н. Н.** – vtvnukde@mail.ru, **Чумакова Е. В.** – ekat.v.ch@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 13.06.2018, принята к публикации 03.08.2018.

