

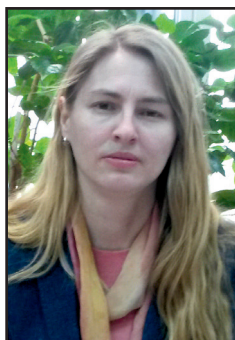


Компоновочные схемы водных и воздушных судов с вихревыми движителями



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 движителями. Представлено комплексное сопоставление характеристик таких судов и судов тех же классов традиционной раздельной компоновки «корпус–двигитель». 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 движителями обладают преимуществами перед своими конкурентами.

Ключевые слова: вихревые движители, 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 движителями, гидродинамика вихревой пары и способы её генерации, принцип использования генераторов вихревых пар в качестве судовых движителей при одновременном обеспечении ими плавучести всего судна.

Основные преимущества судов с вихревыми движителями 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 движителями в установившемся режиме.

Сравнение же судов с вихревыми движителями 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-

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

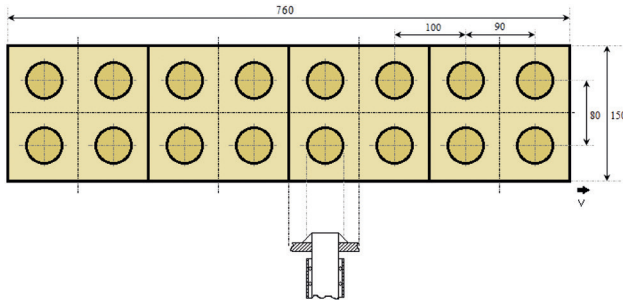


Рис. 1. Схема компоновки наливного танкера, образованного четырьмя секциями на основе двух пар генераторов вихревых пар (размеры в метрах).

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 двигателями	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 двигателями 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 двигателями 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:

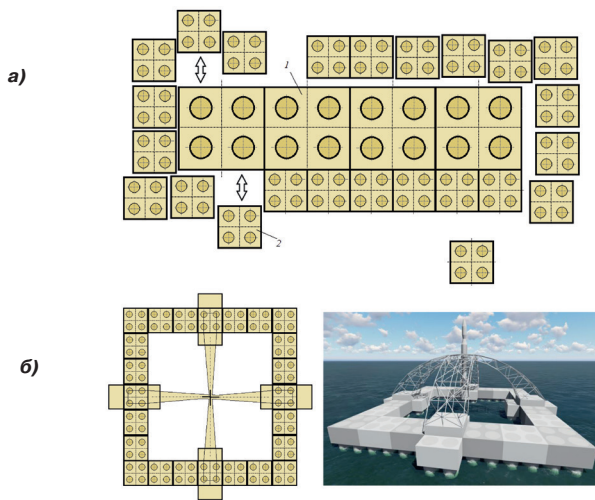


Рис. 2. Схемы реализации идеи мультимодульных судов: а – схема с центральным базовым модулем; б – принципиальная схема плавучего стартового комплекса.

• 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 двигателями 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 двигателя. В установленном режиме оболочка двигателя, 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 x 300	33	6	4800
Из 36 модулей	715000	800 x 300	33	8,9	7000
Из 56 модулей	970000	950 x 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:

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

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: $V \cong 180 \cdot 10^3 \text{ м}^3$, 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 ($a \cong 330 \text{ м/с}$), 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 Γ .

Мощность, потребная для движения в установившемся режиме, пропорциональна произведению r и R , а объём оболочки пропорционален произведению r^2 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—двигитель» 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—двигитель», 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 установленном 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 «Нимидз» // 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.



LAYOUT DIAGRAMS OF WATER VESSELS AND AIRCRAFTS WITH VORTEX PROPULSION UNITS

Ostroukhov, Nikolai N., Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia.
Chumakova, Ekaterina V., Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia.

ABSTRACT

Layout schemes have been developed and calculated and theoretical estimates of the ranges of operational parameters of water vessels and airships (dirigibles) with vortex propulsion units have been made. A complex comparison of the characteristics of such ships and vessels of the same classes of the traditional separate «hull – propulsion unit» configuration is presented. The possibility of the scheme is shown on

the basis of a group of similar modules in the form of surface vessels with two generators of vortex pairs of a family of essentially new types of water vessels – self-contained multipurpose units with an almost unlimited period of autonomous functioning in an arbitrary non-freezing water area of the World Ocean. It is established that in all parameters, in addition to speed, vessels with vortex propulsion units have advantages over their competitors.

Keywords: vortex propulsion units, water and aeronautical vessels, surface and underwater (toroidal) vessels, mass-dimensional characteristics, layout schemes, operational parameters.

Background. In [1–5], basic layout schemes of watercraft and aircraft with vortex propulsion units, hydrodynamics of the vortex pair and methods of its generation, and the principle of using vortex pair generators as vessel propulsion units while simultaneously providing the buoyancy of the entire vessel are described.

The main advantages of vessels with vortex propulsion units are due to the lack of drag in the vortex pair moving in a continuous medium (water, air), in the volume of which there are initiating generators, and in some cases [4] and the vessel itself. The lack of frontal drag explains the extremely low power required for movement of vessels with vortex propulsion units in the steady state.

Comparison of vessels with vortex propulsion units with vessels of traditional layout for other parameters not related to power consumption is most often problematic due to the incompatibility of their design features.

It seems that for a meaningful evaluation of the advantages of different schemes, it is necessary to compare not the individual parameters, but the maximally complete set of operational and design characteristics of vessels that are close in some integral parameters, for example, by displacement or designation.

Our goal was accordingly to compare the sets of operational and mass-size characteristics of water and air (dirigibles) of the traditional separate layout «hull – propulsion unit» and vessels with vortex propulsion units, the basic schemes of which are given in [2].

In addition, the paper proves the feasibility of realizing, on the basis of a certain number (10–50 pieces) of autonomous surface vessels with vortex propulsion units, the idea of a floating device of a fundamentally new class – multi-module and

multipurpose, capable of providing long-term (year or more) operation in the World Ocean.

Objective. The objective of the authors is to consider layout diagrams of water vessels and aircrafts with vortex propulsion units.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, graph construction, mathematical methods.

Results.

1. Surface vessels of large and super-large displacement

The largest surface vessels are currently tankers and aircraft carriers. Below are the principal diagrams of vessels with vortex propulsion units of similar purpose and compared some of their performance characteristics with the parameters of traditional vessels.

1.1. Self-propelled tankers

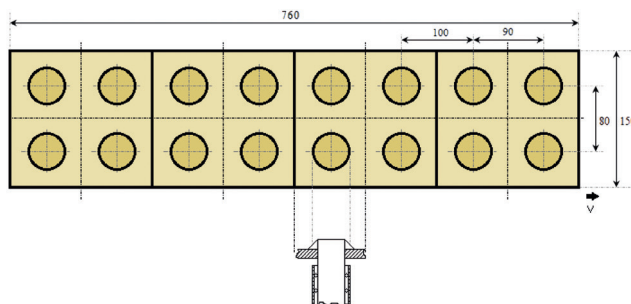
In 1976 in Japan, the oil tanker «Knock Nevis» was built and operated until 2010 with a displacement of 657018 tons (deadweight – 564763 tons), whose dimensions are 458x68 m² with draft (full load) of 24 m.

A schematic diagram of a tanker of a close displacement with vortex propulsion units is shown in Pic. 1. It is based on four identical sections, each of which has two pairs of vortex pair generators made in the form of hollow cylindrical rotors with a diameter of 50 m and a height of 22 m.

At a draft of 20 m the displacement of such a vessel is

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

Distance between the rotors (across the vessel) – 80 m, between the pair of rotors along the vessel – 90 m, between pairs of rotors of adjacent sections – 100 m. Dimensions of the vessel: length (between the outer generators of the first and eighth rotors) – 760 m, width – 150 m.



Pic. 1. Layout scheme of a self-propelled tanker based on two pairs of generators of vortex pairs (dimensions in meters).

Table 1

Comparative characteristics of tankers

Vessel	Water displacement, tons	Dimension, m ²	Speed, km/h	Power, kW	
				Set.	Maneuver.
Oil tanker «Knock Nevis» [6]	657018	458 x 68, displacement with full load 24 m	21,1	36775	36775
Tanker on the basis of modules with vortex propulsion units	630000	760 x 150, displacement with full load 20 m	33	6	5600

Table 2

Comparative characteristics of carrier platforms

Vessel	Water displacement, tons	Dimension, m ²	Speed, km/h	Power, kW	
				Set.	Maneuver.
Carriers of the «Nimitz» class [7, 8]	100000	330x75	56	194000	194000
Aircraft carrier platform based on modules with vortex propulsion units	315000	600x150	33	2,5	3200

Maneuvering of vessels with vortex propulsion units is quite simple, but it is significantly more energy-intensive than the standard mode of operation [2]. To drive the rotor (with a block of retractable shunting blades), a larger engine power is used – the drive shunting engine, when driving in steady state, ensuring internal needs, in particular, the functioning of the vessel's internal equipment.

1.2. Carrier platforms

The most important characteristic of an aircraft carrier is the size of the runway deck (runway). The runway has an area of about 330x75 m² (with a displacement of about 100 thousand tons) [7, 8], which dictates the need to use very complex launch catapults and landing brake systems.

Vortex sailing ships make it relatively easy to provide runways of considerably larger dimensions, for example 600x150 m².

For brevity, the parameter estimation was carried out for a vessel similar to that considered in the previous paragraph, but with a rotor height of 12 m at a nominal draft of 10 m, that is, a displacement three times larger (315 thousand tons). While maintaining the driving qualities of the previous type of vessel, the power consumption is lower due to the reduction in the height of the rotors.

The presented estimations testify, among other things, that surface vessels with vortex propulsion units do not have fundamental limitations on the mass-dimensional characteristics existing for traditional layout vessels of the same purpose.

Indeed, the version of the tanker arrangement (Pic. 1) fully allows for an increase in water displacement as the simplest increase in the number of sections along the longitudinal axis, and parallel docking of the second and the following groups of sections. Similarly, it is possible to increase the size of the runway of the aircraft carrier platform.

Large multisectional vessels are expediently to be assembled with the possibility of docking-undocking sections by autonomous drive motors with rigid or hinged connection of their surface parts. Undocking of super-large vessels can simplify maneuvering and passage of limited fairways.

1.3. Multimodule transformer vessel

The independence of the running qualities of vessels with vortex propulsion units from the configuration and dimensions of the superstructure

entirely outside the water opens the possibility of developing vehicles that have no analogues among traditional layout ships. The variation of the configuration of the superstructure and the combination of a combination of a group of ships makes it relatively easy to construct floating means suitable for solving a variety of technical tasks on the water surface.

Pic. 2 shows the layouts of two variants of multi-purpose multi-module transformers.

Pic. 2a shows the layout of the vessels based on a specialized central module 1, a large displacement and a group of modules (≈10 pieces) of smaller sizes (vessel 2), performing auxiliary functions as being docked to the vessel 1 and in the autonomous operation mode.

In Pic. 2b there is a group of mutually analogous vessels capable of functioning both separately and in a complex, being docked into a single complex, in this case with the formation of a floating launching complex.

A necessary and sufficient condition for the implementation of the described scheme of a multimodule transformer vessel is the correspondence of two design-performance characteristics of individual modules:

- firstly, all modules used in the combined complex mode should have options for implementing the same speed of their vortex pairs, i.e. for all modules there must be a generation mode for the vortex pair, at which the values

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

where $\Gamma_i = 2\pi\omega_i a_i^2$ – circulation of the water velocity on the surface of the rotor generation, l_i – interaxial distance.

- secondly, the superstructures of all modules (decks) must have coupling devices and rigid or hinged modules in a single complex with a common superstructure (deck).

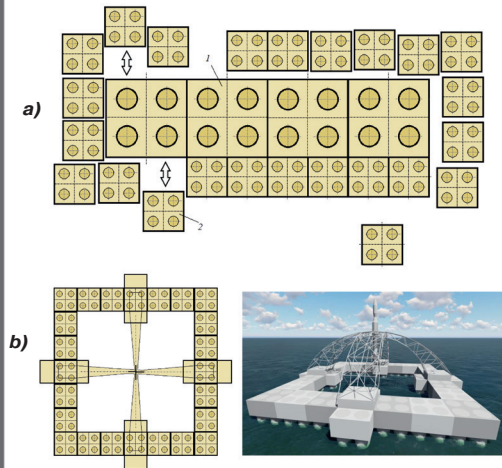
The optimal variant of a separate module is a vessel with a displacement of 10–20 thousand tons with a propulsion unit based on generators of two vortex pairs, i.e. four rotors with a diameter of 15–20 m with a draft of about 10 m. The shape of the deck (platform) of such a vessel is a square with a side of approximately 50 m.



Table 3

Comparative characteristics of carrier platforms

Vessel	Water displacement, tons	Dimension, m ²	Speed, km/h	Power, kW	
				Set.	Maneuver.
Of 23 modules	490000	650 x 300	33	6	4800
Of 36 modules	715000	800 x 300	33	8,9	7000
Of 56 modules	970000	950 x 450	33	12,9	9400



Pic. 2. Schemes for implementing the idea of multi-module vessels: a – a scheme with a central base module; b – a schematic diagram of the floating launch complex.

In the autonomous mode, such vessels can perform a number of functions in the interests of the whole complex:

- to carry out transport communication of the complex with coastal bases;
- to carry out exploration of the water area (for example, fishing);
- to participate in actions that require synchronization in a large area.

In Pic. 2b there is a schematic diagram of a floating starter complex of carrier rockets formed from the same type of surface vessels with one pair of vortex generators.

At the preparatory stages, individual modules of the complex can function in an autonomous mode. To start the rocket, they dock, forming a closed loop, inside which remains an open water surface. On two or four opposing modules the bracket-holder of the rocket is mounted. At the launch of a rocket, its exhaust jet acts on the open surface of the water, rather than on the vessel itself, as in the schemes currently used [9, 4].

2. A submarine vessel with a «thermal» vortex generator

Submarine vessels with vortex propulsion units have a shell shape in the form of a torus, which is

fundamentally different from traditional vessels [4]. The outer shell of the toroidal body, mounted rotatably around the common axis of the torus, acts as a propulsion unit. In steady state, the shell of the propulsion unit, rotating, maintains the existence of a toroidal vortex in the medium (water or air), which creates a specific flow in the environment with a continuous distribution of the velocity of the medium. This corresponds to the constancy along the radius of the vorticity of the flow, so that there are no speed jumps in the whole flow area, including on the surface of the vessel, which causes the absence of drag associated with the high-speed head of the oncoming stream.

At the same time, the displacement of an underwater toroidal vessel with a shell radius of 10 m and a radius of the center line of 25 m:

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

where R – radius of the axial line of the torus, r – shell radius.

At different depths, a vessel of this design can develop a different maximum speed [1], which can be estimated using the following expression:

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

where L – depth of the vessel sinking.

3. Toroidal airship

The layout scheme and the operating principle of the aircraft propulsion unit is practically the same as the previous one, the difference is only in the transport medium (water or air). Receiving a fundamentally new design of the propulsion unit, the toroidal airship retains the traditional design elements: a shell for placing gas lighter than air under pressure and drive motors.

The toroidal airship with a shell radius of 15 m and a radius of the center line of 40 m has a shell volume:

$$V \approx 180 \cdot 10^3 \text{ m}^3, \text{ commensurate in magnitude with the largest ever Hindenburg airship (Table 5).}$$

The speed of the toroidal airship at the maximum permissible linear speed of rotation of the shell initiating the vortex equal to the speed of sound in the air (a ~ 330 m/s) is uniquely determined by the ratio of the radii of the shell r and the center line R:

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

Table 4

Comparative characteristics of submarine vessels

Vessel	Water displacement, tons	Depth, m	Speed, km/h	Power, kW	
				Set.	Maneuver.
Submarine «Shark» [10]	48000	500	46,3	73550	73550
Submarine vessel with a «thermal» vortex generator	49000	100	160	150	600
		300	280	400	1500
		500	360	650	2500

Comparative characteristics of airships

Vessel	Volume, m ³	Max. flight altitude, m	Speed, km/h	Power, kW	
				Set.	Maneuver.
Airship «Hindenburg» [11]	190000	1000	130	3200	3200
Toroidal airship	180000	1000	315	850	4000

where k – a coefficient less than unity, taking into account the linear velocity inequality for the shell surface and the speed of the adjacent air layer, which determines the vorticity of the initiated vortex Γ .

The power required for motion in steady-state mode is proportional to the product of r and R , and the shell volume is proportional to the product of r^2 and R . Therefore, with the power required for the steady motion of the toroidal airship equal to the power of the «Hindenburg» airship drive engines, the shell of the rotary airship may have a volume 8 times greater than that given in Table 5, i.e. $\approx 1,4 \cdot 10^6$ m³.

Conclusions.

1. The analysis of layout schemes and calculation and theoretical estimates of the ranges of operational parameters of water and air (dirigibles) of ships with vortex propulsion units are performed. Areas of shipbuilding are determined, where the advantages of vessels with vortex propulsion units in comparison with the vessels of the traditional «hull – propulsion unit» configuration are most significant.

2. The possibility of creating on the basis of an ensemble of identical modules (sections) with two generators of vortex pairs of water craft of a fundamentally new class – multipurpose floating complexes with an almost unlimited period of autonomous functioning in an arbitrary non-freezing water area of the World Ocean (such as a floating starter complex of space launch vehicles, autonomous fishery and fish processing plant, oceanographic research complex, distributed (multiposition) radar and astrophysical complexes et al.).

3. With regard to the vessels of the existing classes, it is established that for all parameters, except speed, vessels with vortex propulsion units have advantages over vessels of the traditional separate «hull – propulsion unit» configuration, namely:

- surface vessels with vortex propulsion units are absolutely stable, since in the design configuration and loading their center of gravity is below the waterline and, in addition, their horizontal dimensions exceed (sometimes several times) their vertical dimensions, which in principle excludes their tilting or flipping (overquile);

- since the running qualities of vessels with vortex propulsion units are determined only by the parameters of the vortex pair generators, their above-water part (superstructure) allows an arbitrary arrangement in a wide range of mass-dimensional characteristics, opens the possibility of building vessels of known classes with parameters

significantly exceeding the parameters of existing ones;

- with comparable weight and size characteristics, vessels with vortex propulsion units in steady state consume power 7–9 orders of magnitude less than traditional layout vessels;

- toroidal underwater vessels with vortex propulsion units in the form of a rotating outer shell have a lower noise level in comparison with traditional submarines, at greater depths at an appreciable depth, which increases in proportion to the square root of the depth.

REFERENCES

1. Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V. Vortex propulsion units of sea vessels and aircrafts. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 6, pp. 86–91.
2. Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V. Engineering and modeling of optimal maneuvering of vessels with vortex propulsion units. *World of Transport and Transportation*, Vol. 15, 2017, Iss. 5, pp. 14–21.
3. Nedorub, S. A., Ostroukhov, N. N. The vehicle propulsion unit. Patent No. 1533948, the USSR applic. No. 4286395/27–11 of 17.07.1987. Publ. 07.01.1990 No. 1 [Electronic resource]: http://www.findpatent.ru/img_show/6956744.html. Last accessed 03.08.2018.
4. Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V. Underwater or air (dirigible) vessel. Application for invention No. 2017122033 of 22.06.2017.
5. Sedov, L. I. Continuum Mechanics [*Mehanika splushnoi sredy*]. Moscow, Nauka publ., 1970, Vol. 2, 568 p.
6. Sergeev, A. The Black Vertical [*Chernaya vertical*]. *Vokrug sveta*, 2016, Iss. 11, pp. 88–89.
7. Fontenoy, P. E. Aircraft carriers: an illustrated history of their impact. ABC–CLIO Ltd, 2006, p. 349.
8. Aksenov, V. Atomic aircraft carriers of the «Nimitz» type [*Atomnie avianosty tipa «Nimits»*]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 1995, Iss. 10, pp. 43–51.
9. Patent RF 2415047, IPC B63B 35/44 (2006.01), E 02B 17/00 (2006.01). Publ. 27.03.2011 Bul. No. 9 [Electronic resource]: <http://www.freepatent.ru/images/patents/45/2415047/patent-2415047.pdf>. Last accessed 03.08.2018.
10. Ovechkin, E. A. Sharks made of steel [*Akuly iz stali*]. Moscow, AST publ., 2016, 320 p.
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. ●

Information about the authors:

Ostroukhov, Nikolai N. – Ph.D. (Physics and Mathematics), senior researcher, associate professor of the department of Theoretical electrical engineering of Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia, vtvnukde@mail.ru.

Chumakova, Ekaterina V. – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of the department of Computer Mathematics of Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia, ekat.v.ch@rambler.ru.

Article received 13.06.2018, accepted 03.08.2018.

