

## О ПУТЯХ ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В СУДОСТРОЕНИИ

Химич В.Л., Преображенский В.Г.

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24), e-mail: tseu@ntu.nnov.ru*

**Выполнен обзор эволюционного пути развития в судостроении от водоизмещающих судов к экранопланам. Проанализированы тенденции развития судостроения в двадцатом веке. Обоснованы принимавшиеся в кораблестроении архитектурно-конструктивные решения. Рассмотрены методы повышения скорости движения водоизмещающих судов и судов с динамическими принципами поддержания. Определены гидродинамические параметры, определяющие «теоретический» предел повышения быстроходности водоизмещающих судов. Рассмотрены конструктивные решения, обеспечивающие повышение скорости движения судов с динамическими принципами поддержания, включая запатентованные решения. Показан вклад различных конструкторов и исследователей в развитие судов с динамическими принципами поддержания. Определены закономерности развития судостроения. Выявлены причины их возникновения. Выполнена оценка результатов проведенного исследования и даны рекомендации по дальнейшему развитию судостроения.**

Ключевые слова: судостроение, водоизмещающие суда, глиссеры, суда на подводных крыльях, суда на воздушной каверне, суда на воздушной подушке, экранопланы.

## ABOUT WAYS OF EVOLUTIONARY DEVELOPMENT IN SHIPBUILDING

Khimich V.L., Preobrazhenskiy V.G.

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, Minin street, 24), e-mail: tseu@ntu.nnov.ru*

**We have done the review of an evolutionary way of development in shipbuilding from water-displacing vessels - to wing-in-ground-effect vehicles. We analysed tendencies of development of shipbuilding in the twentieth century. We proved the architectural and constructive decisions which had been made in shipbuilding. We considered methods of increase of speed of movement of water-displacing vessels and vessels with the dynamic principles of maintenance. We determined the hydrodynamic parameters defining a «theoretical» limit of increase of rapidity of water-displacing vessels. We considered the constructive decisions providing increase of speed of movement of vessels with the dynamic principles of maintenance, including the patented decisions. We showed the contribution of various designers and researchers in development of vessels with dynamic the principles of maintenance. We defined the regularities of development of shipbuilding. We revealed the reasons of their emergence. We executed the assessment of results of the conducted research and made recommendations about further development of shipbuilding.**

Keywords: shipbuilding, water-displacing vessels, speedboats, hydrofoils, vessels on an air cavity, hovercrafts, wing-in-ground-effect vehicles.

Мысль о том, как увеличить скорость создаваемых судов, с далеких времен волновала кораблестроителей. Переход от парусных судов к судам с тепловыми двигателями явился первым и существенным эволюционным скачком в развитии судостроения, определившим поступательное его развитие на долгие годы.

Однако переход от паровых машин к двигателям внутреннего сгорания (дизелям и газотурбинным двигателям), хотя и позволил повысить энергетическую эффективность создаваемых судов, но путем традиционных технических решений (совершенствование формы и оптимизация относительных размеров корпуса) существенно увеличить скорость хода надводных кораблей и судов не удавалось. Волновое сопротивление стало той преградой, о которую разбивались все усилия кораблестроителей.

## **Цель исследования**

Цель настоящего исследования состоит в глубоком анализе тенденций развития судостроения в двадцатом веке. Решаемые в исследовании задачи состоят в обосновании принимавшихся в кораблестроении архитектурно-конструктивных решений, в определении закономерностей развития судостроения и вскрытии глубинных причин их возникновения.

## **Материал и методы исследования**

Примером повышения скорости движения путем оптимизации размеров корпуса судна является автомобильный паром «*Aquastrada*» (Италия), у которого при числе Фруда  $Fr = 2,2$ , благодаря относительного удлинения корпуса  $L/B = 6$ , получено пропульсивное качество  $K = 8$ . У современных катамаранов относительное удлинение корпусов еще выше, и тем не менее эти меры не позволяют кардинально решить проблему увеличения скорости судов [1].

Уйти от волнового сопротивления возможно, подняв корпус судна над водою, в среду, почти в 800 раз менее плотную. Первыми судами, частично поднятыми над водой и использующими динамические силы поддержания, стали глиссеры. Применение глиссирующего корпуса с поперечными реданами позволило существенно повысить скорость. Катера такого типа широко представлены и в настоящее время как в речном, так и морском флоте. Однако у этого типа судов, при некотором снижении волнового сопротивления, заметно увеличилось сопротивление трения [4].

Одним из направлений увеличения скорости глиссирующих судов путем уменьшения сопротивления трения является применение воздушной смазки днища. Первые упоминания о возможности снижения сопротивления трения указанным способом имеются еще у Вильяма Фруда (1865 г.). В России вопросом снижения трения занимались В.И. Левков, Л.Г. Лойцянский, А.М. Басин, Н.Н. Кабачинский и др. Перспективным направлением в этом плане явилось использование искусственной отрывной кавитации. Как явление, подчиняющееся определенным законам, она стала известна с середины 40-х годов прошлого столетия благодаря работам Рейхарда и Л.А. Эпштейна (1944–1945 гг.). Однако практическое использование воздушной смазки для быстроходных судов стало возможным благодаря исследованиям профессора А.А. Бутузова по применению искусственной воздушной каверны для снижения гидродинамического сопротивления глиссирующих судов.

В 70-х годах XX столетия под руководством А.А. Бутузова был построен пятитонный самоходный макет катера с воздушной каверной. Его испытания стали завершающим этапом комплекса исследований с целью поиска эффективного способа применения искусственной каверны для снижения сопротивления движения судов. В теорию и практику создания

быстроходных судов на воздушной каверне также внесли существенный вклад А.Н. Иванов, В.Г. Калюжный, И.Д. Новиков, А.Н. Павленко, С.Н. Айзен и др.

Результатом успешного решения научно-технической задачи по использованию воздушной каверны для повышения скоростных качеств глиссирующих судов явились построенные по проектам ЦКБ по СПК (Нижний Новгород) суда такого типа (получившие название СВК) – «Серна», «Линда», «Меркурий», «Сокжой», «Дюгонь» и др. Однако кардинальной мерой по уходу от волнового сопротивления стали суда на подводных крыльях (СПК).

Идею крылатого судна впервые воплотил в жизнь русский подданный Шарль Д'Аламбер, который в 1891 году получил патент, а спустя три года построил небольшой катер с крыльевой схемой типа «этажерка». В 1906 году итальянец Э. Форланини на своем катере с подобными крыльями развил небывалую по тем временам скорость – около 40 узлов! Глиссерам трудно было тягаться с крылатыми катерами, поскольку затраты мощности на единицу скорости у последних ниже. Однако широкое внедрение судов на подводных крыльях началось только в 60-е годы прошлого столетия, что объясняется малой изученностью вопросов гидродинамики подводного крыла, отсутствием легких, и в то же время мощных двигателей, легких сплавов, устойчивых к воздействию морской воды и др.

Развитию теории и практики подводного крыла послужили фундаментальные исследования М.В. Келдыша, М.А. Лаврентьева, Н.Е. Кочина, Р.Е. Алексеева и др. Выделились три направления в развитии СПК: V – образные, пересекающие поверхность воды, крыльевые системы, малопогруженные и глубокопогруженные подводные крылья с автоматическим регулированием подъемной силы. СПК с малопогруженными подводными крыльями (Р.Е. Алексеев) нашли наибольшее распространение [6].

Первый экспериментальный катер на подводных крыльях конструкции Р.Е. Алексеева был построен на заводе «Красное Сормово» в 1943 году, а с 1957 г. началось серийное строительство судов такого типа. Всего было построено у нас в стране более 1000 единиц такого типа скоростных судов и впервые в мире была создана система скоростных речных и морских пассажирских перевозок.

Большой вклад в создание судов на подводных крыльях у нас в стране внесли Р.Е. Алексеев, Н.А. Зайцев, Б.А. Зобнин, А.И. Маскалик, А.И. Васин, И.М. Шапкин, И.И. Ерлыкин, Л.С. Попов и др. Их вклад в создание скоростного флота был высоко оценен. Группе конструкторов во главе с Р.Е. Алексеевым были присуждены Ленинская и Государственные премии по науке и технике.

Такая транспортная система просуществовала до распада СССР. Экономический кризис 90-х годов разрушил налаженную систему скоростных перевозок, и теперь требуются годы на ее возрождение.

Тем не менее создание судов на подводных крыльях еще не решило всех проблем, стоящих на пути дальнейшего повышения скорости на воде. Одной из таких проблем явился кавитационный барьер. Благодаря работам В.Л. Поздюнина, М.А. Мавлюдова, А.А. Русецкого и др. СПК с суперкавитирующими гребными винтами смогли достичь скорости 130 км/ч. Однако дальнейший рост скорости стал невозможен из-за возникновения кавитации как на гребных винтах, так и на подводных крыльях. Это послужило одной из причин поиска нового принципа движения судов.

Появились суда с опорой на воздух. В 1959 году пересекло Ла-Манш первое английское судно на воздушной подушке (СВП) «Ховеркрафт» конструктора Коккерелла. Идею же воздушной подушки выдвинул еще в 1716 г. шведский ученый Э. Сведеборг. Существенный вклад в разработку ее теоретических основ внес выдающийся русский ученый К.Э. Циолковский. В 1933 г профессор В.И. Левков разработал методику расчета аппаратов на воздушной подушке, а в 1934 г. было построено первое в мире парящее судно – двухместный катер Л-1. Катер же Л-5 конструкции В.И. Левкова в 1937 г. развил скорость 73 узла! В.И Левков заложил основы теории проектирования такого типа судов. В настоящее время во многих странах мира в составе флотов имеются такого типа амфибийные суда.

Однако и СВП подвержены волновому сопротивлению. Степень волнообразования определяется размерами впадины воздушной подушки. Ее глубина зависит от давления в подушке. Увеличение глубины и ширины впадины приводит к росту волнообразования и «горба» сопротивления.

Логическим шагом в поиске способа дальнейшего увеличения скорости судов стал экраноплан, движущийся на границе раздела двух сред – воды и воздуха.

Степень гидродинамического совершенства судов с различными способами поддержания характеризует гидродинамическое качество. Под ним понимается отношение подъемной силы к сопротивлению движению. Подъем корпуса СПК над водой позволил получить гидродинамическое качество  $K = 12 - 14$ . Эквивалентное качество СВП, учитывающее затраты мощности (до 40 %) на создание воздушной подушки,  $K = 8 - 9$ . Аэродинамическое же качество экранопланов  $K \geq 20$  [3].

Скорость водного транспорта, включая СПК и СВП, не превышает 130 км/ч. Достигнутая же скорость экранопланов превышает 500 км/ч. Экраноплан стал новым типом всесезонного вида транспорта амфибийного типа. Он сочетает в себе как корабельные возможности, проявляющиеся в высокой мореходности и способности длительно находиться в плавании в

водоизмещающем положении, так и возможности летательного аппарата благодаря способности безопасного полета на малых высотах относительно водной поверхности с авиационными скоростями. Сложность в проектировании экранопланов заключается в необходимости оптимального сочетания корабельных и авиационных требований [2].

Работы по использованию эффекта влияния экрана на увеличение подъемной силы крыла имели место уже в конце 20-х годов XX столетия. Известны работы Т. Каарио, Д. Уоркера, Х. Вейланда А Липпиша, И. Троенга и др. Однако дальше создания опытных аппаратов относительно небольшой взлетной массы реализация этой идеи распространения не получила ввиду сложности решения задач по обеспечению безопасного полета на малых высотах. Практическое решение проблемы удалось найти талантливому инженеру-кораблестроителю Р.Е. Алексееву, создателю отечественных судов на малопогруженных подводных крыльях. Большой вклад в развитие теории и практики экранопланостроения в России внесли также Р.Л. Бартини, А.Н. Панченков, А.И. Маскалик и другие ученые страны.

Первые испытания самоходной пилотируемой модели (СМ-1) экраноплана конструкции Р.Е. Алексеева состоялись летом 1961 года на Горьковском водохранилище, которые подтвердили правильность замыслов конструктора. После этого было построено и испытано еще несколько самоходных моделей взлетной массой от 3 до 26 т. Опыт, полученный при испытаниях моделей, позволил коллективу ЦКБ по судам на подводных крыльях, которое в настоящее время носит имя выдающегося конструктора и ученого, создать несколько крупных экранопланов, том числе: экраноплан КМ взлетной массой 500 т и скоростью полета 500 км/ч; транспортный амфибийный экраноплан «Орленок» взлетной массой 140 т и скоростью полета 400 км/ч; экраноплан-ракетоносец «Лунь» взлетной массой 400 т и скоростью полета до 550 км/ч [5].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Переход от водоизмещающих судов к экранопланам был вызван желанием кораблестроителей увеличить скорость создаваемых судов. Достичь этого пытались различными путями. Одним из них является оптимизация размерений корпуса судна. Однако данный метод не позволил кардинально решить проблему увеличения скорости судов. Причиной этому стало волновое сопротивление. Более перспективным решением было поднять корпус судна над водой в менее плотную среду. Следствием этого стало развитие нового типа судов частично поднятых над водой – глиссеров. Несмотря на перспективность данного решения, у него существовал недостаток: при снижении волнового сопротивления, заметно увеличивалось сопротивление трения. Впоследствии уменьшить сопротивление трения позволило применение воздушной смазки днища. Перспективным направлением в этом плане явилось использование искусственной отрывной кавитации. Это послужило

причиной появления быстроходных судов на воздушной каверне. Кардинальной же мерой по увеличению скорости стали суда на подводных крыльях. Их широкое внедрение началось только в 60-е годы прошлого столетия, что объяснялось малой изученностью вопросов гидродинамики подводного крыла, отсутствием легких и в то же время мощных двигателей, легких сплавов, устойчивых к воздействию морской воды и другими причинами. И всё же дальнейший рост скорости судов на подводных крыльях был невозможен из-за возникновения кавитации как на гребных винтах, так и на подводных крыльях. Это послужило одной из причин поиска нового принципа движения судов. Появились суда на воздушной подушке. В настоящее время во всём мире используются амфибийные суда такого типа. Однако и суда на воздушной подушке были подвержены волновому сопротивлению. Дальнейшим шагом в поиске способа увеличения скорости судов стал экраноплан, движущийся на границе раздела двух сред – воды и воздуха. Основная сложность в проектировании экранопланов заключается в необходимости оптимального сочетания корабельных и авиационных требований.

### **Заключение**

В 1994 г. на Международной выставке в Брюсселе представленным образцам экранопланов конструкции Р.Е. Алексева была присуждена золотая медаль. В настоящее время у России есть прочный фундамент для дальнейшего развития аппаратов, использующих экранный эффект.

### **Список литературы**

1. Маскалик А.И., Нагапетян Р.А., Иваненко В.В. Экранопланы – транспортные суда XXI века: учебник. – СПб.: Судостроение, 2005. – 422 с.
2. Химич В.Л., Чернигин Ю.П., Кирилловых В.Н. Конструкция систем управления экранопланов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та, 2012. Т. – Гидравлические системы и агрегаты. – 158с.
3. Химич В.Л., Чернигин Ю.П. Оценка потребной мощности главной силовой установки высокоскоростного судна: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та, 2008. – 162с.
4. Химич В.Л., Чернигин Ю.П. Проектирование силовых установок высокоскоростных судов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. – 2006. – С. 22-34.
5. Химич В.Л., Чернигин Ю.П. Проектирование силовых установок экранопланов: учебник для курсантов Военно-морского инженерного института и студентов высших учебных заведений. – СПб.: Судостроение, 2011. – 428с.

6. Химич В.Л., Чернигин Ю.П. Энергетические установки высокоскоростных судов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та, 2003. – 354с.

**Рецензенты:**

Зуев В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и авиационная техника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Ваганов А.Б., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Аэро-гидродинамика, прочность машин и сопротивление материалов» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.