

УДК 629.5.03

Проекты плавниковых движителей

С. Д. Чижиумов¹, В. А. Беляев², Д. С. Кузнецов³

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Рассматривается задача ходкости судна с точки зрения теории решения изобретательских задач. Кратко представлен системный анализ проблемы. Выполнен анализ противоречий и предложены способы их разрешения. Предложены эскизные проекты движителей. Представлена опытная модель и первичные результаты экспериментов.

Ключевые слова: плавник, движитель, системный анализ, противоречие, модель, эксперимент, гидроупругость, гидробионт, присоединенная масса

Fin propulsion projects. *Sergey D. Chizhiumov, Victor A. Belyaev, Denis S. Kuznetsov. Komsomolsk-na-Amure State Technical University.*

The problem of ship propulsion from the point of view of the theory of inventive problem solving is considered. The system analysis of the problem is briefly presented. The analysis of the contradictions is done and ways to resolve them is suggested. The conceptual designs of propulsors is proposed.

The experimental model and first experimental results is presented.

Keywords: fin, propulsor, system analysis, contradiction, model, experiment, hydroelasticity, hydrobiont, added mass

Введение

Известно, что традиционные движители судов (винт, гребное колесо и др.) менее эффективны, чем движительные системы многих гидробионтов.

Традиционные судовые движители включают в себя быстро движущиеся, относительно скорости самого судна, рабочие поверхности. На них создаются большие перепады скорости и давления, что приводит к снижению эффективности движителя (большие вихревые потери, кавитация). Если уменьшить скорость движения лопастей, то для создания такого же упора требуется увеличить их площадь, что приводит к росту сопротивления трения. Более того, с ростом диаметра винта окружная скорость на концах лопастей не уменьшается, а растёт.

В основе работы винта и гребного колеса лежит использование стационарной силы тяги, создаваемой вихревым движением жидкости. Такой способ движения неэффективен и в природе применяется очень редко. Естественный отбор создал другой движитель – упругий плавник. В результате рыбы затрачивают на движение гораздо меньшую удельную энергию, чем суда (парадокс Грэя).

¹ Чижиумов Сергей Демидович, канд. технич. наук, доцент кафедры кораблестроения

² Беляев Виктор Александрович, студент – магистрант по направлению подготовки «кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры»

³ Кузнецов Денис Сергеевич, студент – магистрант по направлению подготовки «кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры»

На рис. 1 приведена классификация некоторых основных типов движений, характерных для крупных рыб [8]. Для относительно маломощных гидробионтов, движущихся с небольшими скоростями с экономным расходом энергии, характерен волнообразный изгиб всего тела (угри, змеи, сомы). По мере увеличения скоростных качеств рыб формы изгиба их тел изменяются. У наиболее быстрых рыб (тунец, парусник, рыба-меч) большие амплитуды колебаний совершает только хвостовая часть тела, составляющая около 1/3 всей его поверхности. Однако для всех этих типов движения характерно то, что большая доля тяги формируется за счёт инерционных гидродинамических сил, обусловленных локальными ускорениями точек поверхности тела и хвостового плавника.

1

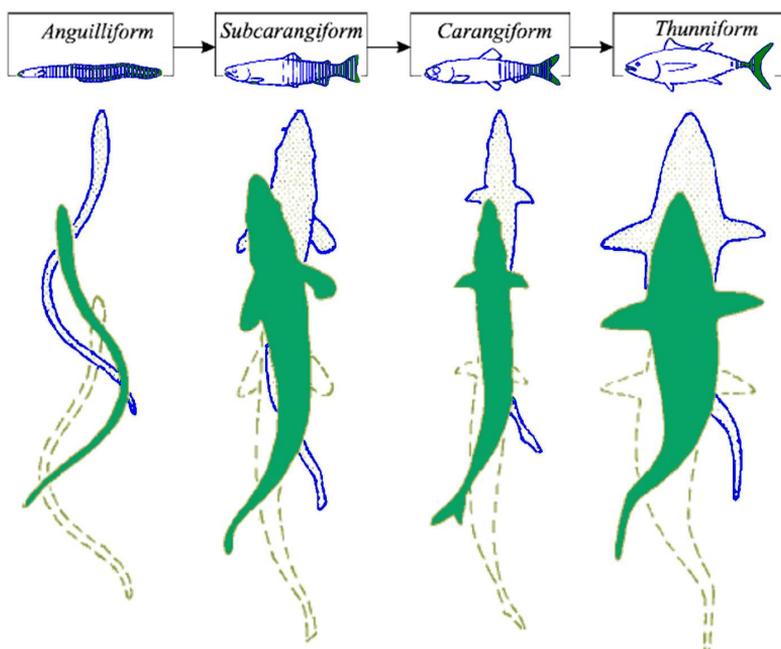


Рис. 1. Классификация форм движения гидробионтов [8]

Идея моделирования движения рыб не является новой. С ней связано большое количество исследований в нашей стране [2 - 7] и за рубежом [8]. С. И. Кроленко [4] на основе архивных материалов представил элементы теории гибкого плавникового движителя, разработанные В. П. Костенко ещё в 1910 году. Известно довольно много реализаций плавниковых движителей, имитирующих работу хвостового плавника рыб на моделях. Одной из наиболее удачных является действующая модель судна, разработанная В.Н. Храмушиным [6], имеющая движитель с жесткой пластиной. Имеются изобретения гибких плавниковых движителей [7], а также большое количество работ по созданию искусственных рыб [8]. Вместе с тем следует отметить, что многие модели искусственных рыб основаны на механическом копировании без тщательного анализа физических принципов работы природных плавников.



Реализация плавниковых движителей наталкивается на некоторые препятствия: большие инерционные усилия при колебаниях плавников приводят к перегрузкам и потере энергии на поперечную качку; сложная система привода; отсутствие технологий изготовления гибких элементов и механизмов привода и др. Однако все эти препятствия являются в существенной степени устранимыми при системном и тщательном проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В данной работе представлены некоторые рассуждения по проблеме плавниковых движителей с точки зрения теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), а также начальные результаты по разработке опытных моделей.

Системный анализ проблемы

При системном подходе к решению проблемы ходкости судна необходимо рассматривать судно как целостную систему, то есть решать не частные задачи совершенствования подсистем (повышения к.п.д. движителей, снижения сопротивления корпуса и др.), а совершенствовать судно в целом. Рассмотрим вначале законы ТРИЗ развития данной технической системы [1, 2].

Закон перехода количественных изменений в качественные. В настоящее время становится очевидным, что развитие движителей традиционных типов (гребное колесо, винт, водомёт) достигло вершины либо прошло этот этап. Дальнейшее их совершенствование не приводит к существенным улучшениям. Заканчивается этап их эволюции. Следующим этапом должно быть качественное изменение.

Закон перехода в надсистему. Даже достигая 100% к.п.д. движителей, проблема ходкости судна принципиально не решается ввиду большого сопротивления воды. Необходимо выйти на уровень надсистемы, рассматривая не движитель (пытаясь повысить его эффективность) и не корпус судна (пытаясь снизить сопротивление движению), а их совместную работу.

Закон перехода к управляемым ресурсам. Развитие кораблей идет в направлении применения ресурсов с более высоким уровнем организации, например, более управляемых веществ и полей. Пока управление применяется и совершенствуется применительно только к работе движителей (ВРШ, Азипод и др.). Управлению гидродинамическими силами на поверхности судна уделяется недостаточное внимание.

Закон увеличения степени динамичности систем. У судов с традиционными движителями динамичность проявляется только при движении рабочих поверхностей (лопастей) движителей. Обтекание же всего корпуса судна стационарное. Следовательно, необходимо перейти к нестационарному режиму обтекания поверхности судна.

Постановка и решение изобретательской задачи

Вначале определим противоречия системы «судно – движитель».

Техническое противоречие 1. Судовой винт включает в себя быстро движущиеся (относительно скорости самого судна) лопасти. На них создаётся вы-



сокая разность потенциала скорости (\Rightarrow скорости), что приводит к снижению эффективности их работы (большие вихревые потери, кавитация). Если уменьшить скорость движения лопастей, то для создания такого же упора потребуются увеличить их площадь, что приведёт к росту сопротивления трения. С ростом диаметра винта концы лопастей винта движутся с большой окружной скоростью со срывом обтекания и образованием кавитации.

Физическое противоречие. Упор сконцентрирован в районе движителя – почти в точке по сравнению с размерами судна. Так как вода не является твёрдым телом, то эффективно оттолкнуться от неё, прикладывая сосредоточенное усилие, сложно (кавитация и пр.). Должна быть увеличена площадь несущих поверхностей движителя. Но с их увеличением образуются тормозящие вихри, растёт сопротивление трения. Это сопротивление складывается с сопротивлением корпуса судна. Таким образом, с одной стороны, должна быть большая несущая поверхность движителей (для создания упора), с другой стороны, не должно быть поверхности движителей (для исключения сопротивления движению).

Техническое противоречие 2. Объёмный удлинённый корпус судна при обтекании водой создаёт систему скоростного давления, когда на большей части длины оно отрицательное. В результате формируется тормозящий турбулентный пограничный слой и значительно растёт сопротивление трения (в носу, где давление положительное, турбулентный пограничный слой практически отсутствует). Если длину корпуса уменьшать, то существенно растёт сопротивление формы в результате неизбежного образования срывов потока и крупных вихрей, а также из-за образования волнового следа.

Физическое противоречие. Корпус судна (любой формы) мешает движению судна – он создаёт только сопротивление движению. Но он не может быть исключён, так как определяет основную функцию судна (размещение и транспортировку грузов или пассажиров). Таким образом, корпус судна должен быть и, одновременно, его не должно быть (точнее, не должно быть его поверхности, создающей сопротивление трения и формы).

Оперативная стадия решения задачи. Рассмотрим один из стандартных приемов ТРИЗ, заключающийся в проверке возможности изменений в соседних объектах, в частности, возможности удаления одного объекта за счёт передачи его функций другому объекту.

Решение 1: убрать из воды корпус, передав его функцию (поддержание) несущим крыльям или др. элементам. Это решение приводит к известным типам судов с динамическими принципами поддержания (глиссеры, СПК, СВП и др.). В этом направлении перспективно применение движителей, которые одновременно являются устройствами для создания силы динамического поддержания [3].

Решение 2: убрать традиционные движители, передав их функцию корпусу. Таким образом, корпус судна должен создавать тягу. Аналог из природы – рыба. Вытекающая проблема: как создать тягу поверхностью корпуса?

Сила тяги может иметь разную природу: вихревая (на лопастях винта); инерционная; реактивная; упругая. Большинство известных движителей – вихревые или реактивные. Однако рыбы в воде используют преимущест-



венно силы инерции. Поперечные сечения их тела совершают управляемые движения с ускорением, формируя изгибные колебания тела и хвостового плавника. Образующиеся при этом силы инерции пропорциональны ускорениям и массе. Масса включает массу тела и присоединённую массу воды. При этом чем больше площадь поверхности, испытывающей поперечные колебания, тем больше присоединённые массы.

Таким образом, для создания тяги непосредственно корпусом судна он должен создавать изгибные колебания значительной амплитуды. В этой связи возникает новое противоречие. Корпус судна должен испытывать изгибные колебания значительной амплитуды, но не должен создавать большие перегрузки, вредные для пассажиров и экипажа, а также создающие инерционные давления груза на корпус.

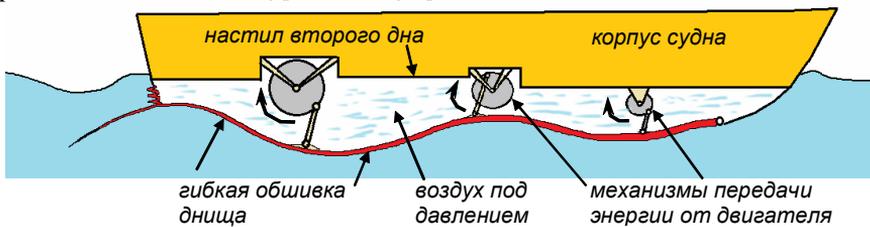


Рис. 2. Судно с упругим дном [2]

Применяя некоторые из типовых приемов устранения технических противоречий, получаем следующие возможные варианты решения:

- создавать изгиб не всего корпуса, а его части – смоченной поверхности (рис. 2);
- разделить корпус на две разные по функциям части (в одном корпусе – груз, другой(ие) – создают тягу). В этом случае получаем судно с малой площадью ватерлинии и гибкими (либо состоящими из нескольких подвижно сочленённых частей) подводными корпусами – движителями (рис. 3).

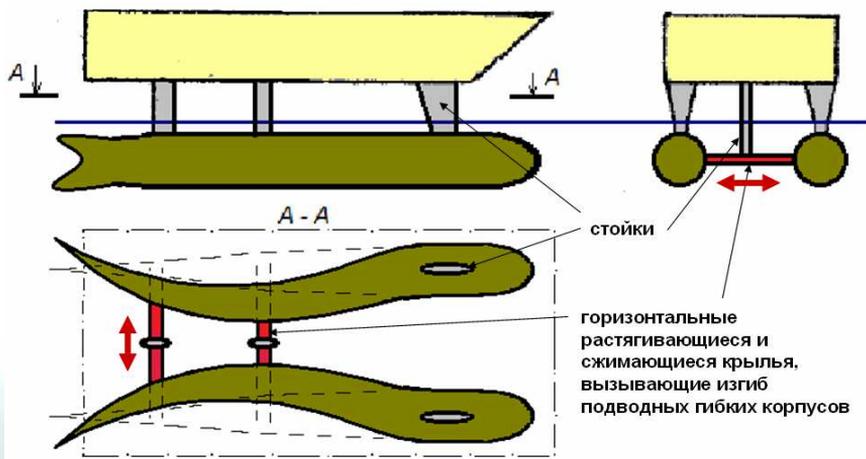


Рис. 3. Судно с движителями в виде изгибающихся подводных корпусов [2]

Компромиссные решения

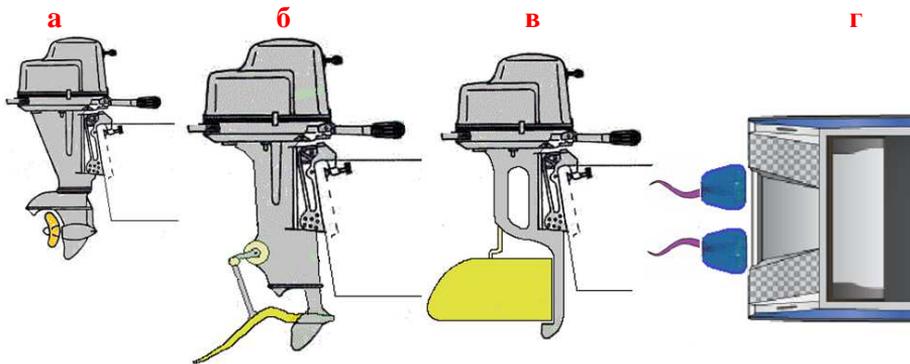


Рис. 4. Плавниковые движители для маломерного судна: а – обычный подвесной мотор; б – мотор с горизонтальным плавником; в и г – мотор с двумя вертикальными плавниками (в – вид сбоку, г – вид сверху)

Кроме решений, полученных в предыдущем разделе, можно отметить менее радикальные проекты плавниковых движителей. Они предполагают простую замену винта плавником, конечно, с новой системой привода. На рис. 4 представлены варианты подвесного двигателя с плавниковым движителем для маломерных судов. Движитель состоит из одного или двух упругих плавников, приводимых в движение кривошипно-шатунным механизмом. Эффективная работа обеспечивается подбором элементов привода, частоты колебаний, размеров, формы и жесткости плавников. Качку и вибрацию судна от работы плавников можно исключить путем применения двух плавников, изгибающихся в противофазе.

Вариант судна с плавником под днищем (рис. 5) выбран для проведения модельных экспериментов. Он удобен для опытов тем, что движитель не связан непосредственно с корпусом. Двигатель, редукторы и приводы движителя закреплены на горизонтальной раме, которая может крепиться к различным моделям судов. При этом возможно изменение расположения движителя по длине модели (рис. 6) и регулирование амплитуд колебаний. Также предусмотрена возможность установки плавников разных размеров и форм.



Рис. 5. Экспериментальная модель судна с плавниковым движителем

Эффективная работа движителя обеспечивается путём подбора элементов кривошипно-шатунного привода, размеров, расположения, формы и жесткости плавника. Наибольшей эффективности должен соответствовать резонансный режим колебаний плавника, когда частота его вынужденных колебаний соответствует частоте собственных упругих колебаний.

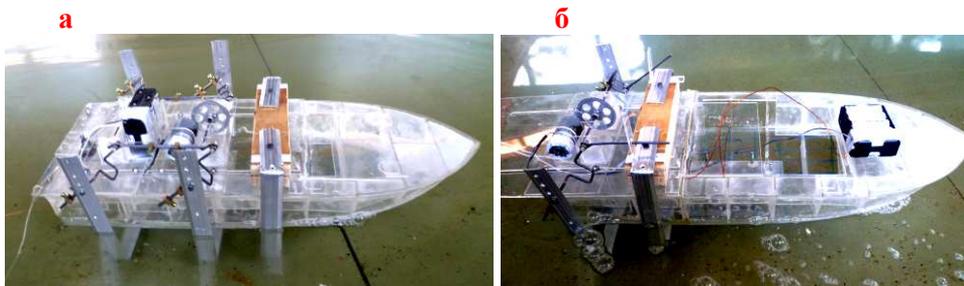


Рис. 6. Модель с расположением плавника под днищем (а) и смещённым в корму (б)

Первые результаты опытов

С моделью на рис. 5 проведены первые эксперименты. Целью опытов является исследование волнообразования и ходовых качеств модели в зависимости от параметров движителя и модели судна. Первые опыты показали, что исходные соотношения параметров движителя и модели выбраны не вполне удачно. В частности, частота колебаний плавника находится в диапазоне собственных частот качки модели. В процессе дальнейших исследований планируется определить зависимости между основными параметрами с целью их применения при проектировании подобных систем.

На рис. 7 представлены фотографии волнообразования при разных вариантах положения и размеров плавника (см. рис. 6). Как видно из рис. 7 а, при расположении широкого и длинного плавника под днищем он формирует расходящиеся во все стороны от модели волны вследствие интенсивной вертикальной и килевой качки. Объясняется это тем, что частота колебаний плавника находится в диапазоне частот качки модели, в то время как собственная частота упругих колебаний плавника пренебрежимо мала. Очевидно, что в дальнейшем необходимо повысить собственную и вынужденную частоты колебаний движителя путём применения более жёсткого плавника и повышения числа оборотов двигателя.



Рис. 7. Движение модели с расположением плавника под днищем (а) и смещённым в корму (б)

Снизить интенсивную вертикальную качку можно путём смещения движителя в корму. Несколько повысить собственную частоту колебаний



плавника можно путём снижения присоединённых масс воды, применяя плавник меньшей площади (рис. 7 б). За счёт этого вертикальная качка модели снизилась, однако раскачивание кормы остаётся довольно существенным, формируя продольные волны, параллельные ДП. Скорость второй модели выросла на 60%.

Для полного исключения качки судна от работы движителей наиболее эффективным решением представляется применение двух параллельных плавников, работающих в противофазе.

Заклучение

1

Перспективной целью данной работы является разработка движителей нового типа, способных обеспечить существенное увеличение тяги и эффективности движения судна (за счёт увеличения площади рабочих поверхностей, гидроупругого эффекта, уменьшения вызванных скоростей на рабочих поверхностях движителя, снижения сопротивления трения).

В настоящее время работа находится в начальной стадии. Тем не менее, в ней определена физическая модель гидроупругих колебаний плавника, в основе которой лежит создание тяги за счёт нестационарных волновых движений, использующих инерционные свойства жидкости. Эта модель проясняет принципиальное отличие плавника от винта и других движителей, основанных на создании стационарной реактивной тяги вихревой природы.

Кроме того, в работе решена изобретательская задача. Создана экспериментальная модель и проведены первые опыты, подтверждающие принципиальную реальность практической реализации данного проекта.

Литература

1. *Альтиуллер Г. С.* Алгоритм изобретения. 2-е изд. – М.: Московский рабочий, 1973. – 296 с.
2. *Беляев В. А., Кузнецов Д. С., Чижумов С. Д.* Судно с плавниковым движителем // Материалы международного научного форума студентов, аспирантов и молодых учёных стран АТР. – Россия, Владивосток, ДВФУ, май 2012. – Часть 1, электронное издание, <http://files.mail.ru/TGU9DM> –С. 885-887.
3. *Данилов Е.* Плавник дорогу найдёт! / Катера и яхты, № 3 (213), 2008. – С. 78 – 80.
4. *Кроленко С. И., Малкин М. Ф.* Теория движителя типа «рыбий хвост» // Судостроение, № 10, 1981. – С. 14–18.
5. *Сорокодун Е. Д.* Катера с движителем колебательного типа / электронный ресурс // режим доступа: <http://www.vortexosc.com/>
6. *Храмушин В. Н.* Исследование путей создания гибкого плавникового движителя с динамически изменяемой геометрией машущего крыла // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана. Выпуск 1, 2005. – С.179-183.
7. *Храмушин В. Н.* Корабль с плавниковым движителем. Патент на изобретение № 2360831. Заявка № 2007133624. Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений РФ 07.09.2007.
8. *Sfakiotakis M., Lane D. M., Davies J.B.C.* Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 1999. V 24, N 2. – P. 237–252.