

Анализ результатов данной серии опытов показывает, что повышение U_m , с точки зрения $\mathcal{E}_{эф}$, целесообразно до определённых значений. И лишь с учётом заданной производственной программы A_i . Как следует из представленных на рис. 4.5 и 4.6 графиков, экономически обоснованный U_m для судоразделочных площадок составляет (45...50) %. Полученный диапазон обусловлен техническими и стоимостными характеристиками специализированного СТО, применяемого для судоразделки.

Список литературы:

- [1] Анисимов К.О., Г.В. Егоров, Н.А. Ефремов, Строительство новых судов с использованием элементов судов-доноров – реальный путь сохранения российских речных круизов. [Электронный ресурс]. <http://www.mosturflot.ru/articles/14261> (дата обращения 18.05.2014).
- [2] Акмаева Р.И., Епифанова Н.Ш. Экономика организаций (предприятий) [Текст] : Учебное пособие / Р.И. Акмаева, Н.Ш. Епифанова. – Ростов н/Д: Феникс, 2009.– 494 с.
- [3] Сергеев И.В. Экономика предприятия [Текст]: Учебное пособие / И.В. Сергеев. - М.: Финансы и статистика, 2000. – 531 с.
- [4] Основные показатели и формула для расчета производительности труда [Электронный ресурс]. <http://delatdelo.com/spravochnik/osnovy-biznesa/proizvoditelnost/truda-formula-rascheta.html> (дата обращения 25.01.2014).
- [5] Постановление Правительства РФ от 9 февраля 2013 г. № 101 «О предельных значениях выручки от реализации товаров (работ, услуг) для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства».
- [6] Студнев С.В. Обоснование вида целевой функции при выборе технологии разделки судов на лом с учётом существующих экологических ограничений / С.В. Студнев, Е.Г. Бурмистров, Т.А. Михеева / Вестник ВГАВТ. Вып. 43. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015.– С 89–96.

В.М. Шмаков
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СООСНЫХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ДЛЯ БУКСИРНОГО СУДНА

Ключевые слова: соосные гребные винты, «малое» судно, буксир

Представлен мировой опыт применения соосных гребных винтов. Рассмотрены их достоинства и недостатки и целесообразность использования таких движителей в судостроении.

Любителей малого судостроения интересует вопрос: почему для устранения реактивного момента от вращения гребного винта подвесного мотора не практикуют установку двух соосных винтов (рис. 1, рис. 2), вращающихся в противоположном направлении? Велики ли при этом потери коэффициента полезного действия (КПД) или дело только в конструктивных сложностях такого решения? С другой стороны, соосные гребные винты противоположного вращения давно известны и широко применяются на торпедах, но почему-то редко используются в «большом» судостроении.

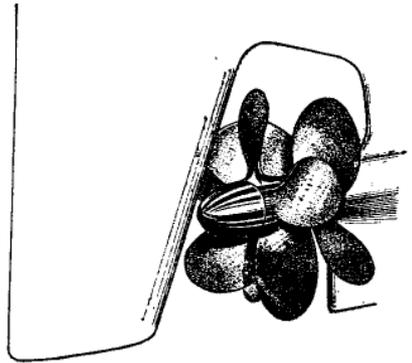


Рис. 1. Соосные гребные винты на быстроходном судне

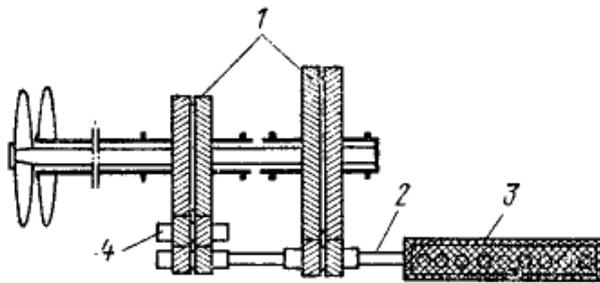


Рис. 2. Схема одномашинной энергетической установки с соосными винтами: 1 – редуктор, 2 – входной вал редуктора, 3 – дизель, 4 – паразитная шестерня

В большинстве случаев конструкторы больших и малых судов отдают предпочтение одновальной движительной установке, имеющей, по сравнению с двухвальными, более высокий КПД, меньшую массу, габариты и стоимость. Однако на быстроходных судах с увеличением подводимой к гребному винту (ГВ) мощности КПД одновальной установки снижается вследствие возрастания нагрузки на лопасти; получают развитие кавитация и вибрация лопастей. При этом наиболее эффективным способом сохранить КПД является увеличение диаметра винта, но такой путь далеко не всегда приемлем, так как приводит к увеличению габаритной осадки судна. Поэтому в ряде случаев становится целесообразным использование соосных гребных винтов (СГВ), т. е. двух винтов, имеющих общую ось вращения и расположенных на близком друг от друга расстоянии (рис. 3).

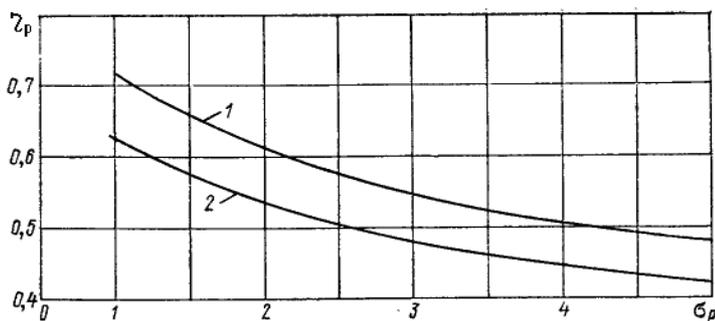


Рис. 3. Сравнение КПД различных гребных винтов при оптимальном числе оборотов: 1 – соосные винты, 2 – одиночный винт

СГВ могут иметь одинаковое (установка типа «тандем») или противоположное направление вращения. Ясно, что конструктивно установка с тандемными СГВ получается гораздо проще – достаточно разместить на одном валу два винта. Однако исследования показали, что КПД тандемных СГВ неизбежно получается ниже, чем обычного одиночного ГВ оптимального диаметра. Достоинство таких СГВ заключается лишь в возможности уменьшить диаметр ГВ, а также (в некоторых случаях) избежать кавитации благодаря увеличению общей площади лопастей. На практике СГВ типа тандем применения не получили.

В разных странах проведены исследования возможностей применения СГВ противоположного вращения на больших и малых судах. Сама идея СГВ не нова: уже много десятилетий такие винты противоположного вращения применяются на торпедах с целью устранения вращающего реактивного момента, создаваемого при работе одиночного ГВ, и повышения устойчивости движения. В 1894 г. К. Э. Циолковский дал описание самолета, оборудованного соосными винтами противоположного вращения; на практике первые такие винты были применены известным изобретателем ветродвигателей А. Г. Уфимцевым. В судостроении первая попытка использования СГВ относится к 1909 г. На небольшом буксирном катере инженер Рота заменил четырехлопастной гребной винт диаметром 1,1 м двухлопастными СГВ диаметром 0,8 м с той же суммарной площадью лопастей. В результате мощность, необходимая для обеспечения той же заданной скорости, уменьшилась на 20%. Несколько позже двухлопастные же СГВ были испытаны на итальянском вспомогательном судне «К. Колумб»: его пропульсивный коэффициент с этими винтами оказался на 18% выше, чем с одиночным четырехлопастным ГВ. В чем же, коротко, заключаются особенности работы движителя рассматриваемого типа?

Известно, что потери на закручивание струи за гребным винтом являются одним из основных видов потерь энергии и с увеличением нагрузки на движитель значительно возрастают. Идея СГВ и заключается в том, чтобы частично использовать эту бесполезно затрачиваемую энергию и преобразовать ее в дополнительный упор: задний винт соосного комплекса, вращающийся в противоположном направлении, раскручивает струю, отбрасываемую передним винтом. При этом благодаря более благоприятным условиям работы заднего винта его упор и КПД становятся больше, чем переднего гребного винта.

Благодаря практически полной ликвидации потерь энергии на закручивание струи, снижению концевых потерь (связанных с перетеканием жидкости с нагнетающей на засасывающую поверхность лопасти), а также некоторому уменьшению потерь на трение (за счет работы заднего винта в потоке за передним винтом) КПД соосного комплекса и оказывается на 10–12% выше, чем эквивалентного одиночного ГВ. Увеличение площади поверхности лопастей СГВ и их общего числа не только снижает удельную нагрузку на лопасть, но и уменьшает вибрационные усилия, передаваемые движителем на корпус. Важным достоинством СГВ является также и возможность устранения неизбежного при работе одиночного ГВ реактивного момента, отклоняющего судно с курса, а на самых малых судах (и в частности – на катерах) вызывающего крен в сторону, противоположную направлению вращения. Установлено, что оптимальный диаметр СГВ на 15–20% меньше, чем эквивалентного одиночного ГВ. Необходимо еще учитывать, что взаимовлияние винтов существенно изменяет поле скоростей потока, в котором они работают, а срывающиеся с переднего винта концевые вихри, попадая на лопасти заднего винта, могут вызывать эрозионные их разрушения. Чтобы избежать этого, диаметр заднего винта рекомендуют делать на 6–12% меньше, чем переднего. Специфичны и условия взаимодействия СГВ с корпусом судна, обусловленные их расположением относительно корпуса. Передний винт обычно оказывается расположенным ближе к корпусу, а задний, размещаемый, как правило, на внутреннем концентрическом валу, более удаленным от корпуса, чем одиночный ГВ. Благодаря некоторому выравниванию нагрузки по диску винтов, а

также снижению скоростей потока вблизи корпуса коэффициент засасывания t оказывается меньше, чем при использовании одиночного ГВ. Коэффициент же попутного потока w вследствие меньшего диаметра СГВ возрастает. Эти особенности изменения величин t и w могут привести к увеличению на 5–7% полезного коэффициента влияния корпуса. Особенно заметны преимущества СГВ в условиях взаимодействия с корпусом при сравнении с обычной двухвальной установкой.

К настоящему времени проведены систематические испытания серий моделей СГВ, позволяющие путем вариаций в сочетаниях дискового и шагового отношений, числа лопастей, характеристик формы профилей их сечений получать различные варианты соосного комплекса. Исследованиями установлено, что с точки зрения эффективности действия СГВ оптимальным является распределение потребляемой мощности между передним и задним винтами поровну.

В Нидерландском опытовом бассейне испытывалась серия из пяти пар моделей СГВ с равной нагрузкой. Замерялись гидродинамические характеристики винтов, производились наблюдения (в кавитационной трубе) за возникновением и развитием кавитации на лопастях, исследовались вибрационные характеристики комплекса. В частности, визуальные наблюдения и фотоснимки показали, что кавитационные характеристики переднего винта идентичны характеристикам одиночного ГВ. В то же время протяженность области пленочной кавитации на засасывающей поверхности лопастей заднего винта оказалась значительно меньше, чем на лопастях переднего винта и лопастях одиночного ГВ. Замеры вибрационных усилий на корпусе моделей судов показали, что передний винт СГВ имеет такие же, а задний – значительно меньшие пульсации крутящего момента и упора за время одного оборота, чем одиночный ГВ. При практическом проектировании СГВ могут быть использованы приближенные расчетные схемы (приведенные, например, в книге Я.И. Войткунского и др. «Справочник по теории корабля», Л., «Судостроение»), а также опубликованные экспериментальные данные по гидродинамическим характеристикам этих винтов.

Одну из наиболее сложных проблем, препятствующих широкому применению СГВ, представляет разработка системы передачи мощности, в частности – надежной конструкции валопровода, состоящего из двух соосных гребных валов, один из которых приходится делать полым. Дело не только в трудностях обеспечения прочности (при минимальных диаметрах валов); не менее сложны вопросы уплотнения валов. Элементы уплотнений установок с СГВ работают на повышенных скоростях трения (вследствие увеличения уплотнительных поверхностей); кроме того, необходимо применение разъемных конструкций уплотнений для облегчения обслуживания и возможности замены их отдельных узлов без демонтажа всей установки.

Предметом особо тщательного анализа становится и выбор схемы общей компоновки энергетической установки. Одним из наиболее простых решений задачи является использование гребного электродвигателя постоянного тока биротативного типа, у которого ротор и статор вращаются с одинаковым числом оборотов, но в противоположных направлениях. Достоинства этой схемы – возможность изменения частоты вращения гребных винтов в широком диапазоне и простота осуществления реверса; к недостаткам относятся большой вес и значительная построечная стоимость установки.

Если используется дизель, то наиболее рациональна установка одноступенчатого раздвоенного зубчатого редуктора с паразитной шестерней; реверс в этом случае осуществляется путем изменения направления вращения вала редуктора. Менее экономична установка из двух двигателей, каждый из которых работает на «свой» гребной вал. Реверс осуществляется при этом также путем изменения направления вращения ведущих валов редуктора. Достоинством этой схемы является гибкость в осуществлении необходимых режимов движения судна на переднем и заднем ходу, а также его реверса.

Необходимо так же отметить, что есть основания считать СГВ перспективным типом движителя для быстроходных катеров с энергетической установкой большой агрегатной мощности и значительной удельной нагрузкой на винт. СГВ могут найти применение и на малых судах с ограниченной осадкой, когда возникают трудности в размещении одиночного ГВ оптимального диаметра и необходимо его уменьшить без ущерба для ходовых качеств судна.

Можно полагать, что конструктивные проблемы передачи мощности от главного двигателя к СГВ для катеров решить будет проще, чем для крупных судов, так как абсолютное значение передаваемой мощности во много раз меньше. Что же касается основной массы отечественных прогулочно-туристских судов, оснащаемых двигателями мощностью до 30–50 л. с., то применение на них СГВ представляется малоперспективным вследствие неизбежного значительного усложнения конструкции валопровода (а на подвесном моторе – еще и увеличения размеров дейдвудной части). Для устранения же реактивного момента подвесного мотора могут быть использованы иные, более простые пути.

В чем же заключаются особенности и преимущества работы движителя рассматриваемого типа? Известно, что потери на закручивание струи за гребным винтом являются одним из основных видов потерь энергии и с увеличением нагрузки на движитель, значительно возрастают. Идея СГВ и заключается в том, чтобы частично использовать эту бесполезно затрачиваемую энергию и преобразовать ее в дополнительный упор: задний винт соосного комплекса, вращающийся в противоположном направлении, раскручивает струю, отбрасываемую передним винтом. При этом благодаря более благоприятным условиям работы заднего винта его упор и КПД становятся больше, чем переднего гребного винта.

Благодаря практически полной ликвидации потерь энергии на закручивание струи, снижению концевых потерь (связанных с перетеканием жидкости с нагнетающей на засасывающую поверхность лопасти), а также некоторому уменьшению потерь на трение (за счет работы заднего винта в потоке за передним винтом) КПД соосного комплекса и оказывается на 10–12% выше, чем эквивалентного одиночного ГВ. Увеличение площади поверхности лопастей СГВ и их общего числа не только снижает удельную нагрузку на лопасть, но и уменьшает вибрационные усилия, передаваемые движителем на корпус. Важным достоинством СГВ является также и возможность устранения неизбежного при работе одиночного ГВ реактивного момента, отклоняющего судно с курса, а на самых малых судах (и в частности – на катерах) вызывающего крен в сторону, противоположную направлению вращения. Установлено, что оптимальный диаметр СГВ на 15–20% меньше, чем эквивалентного одиночного ГВ. Необходимо еще учитывать, что взаимовлияние винтов существенно изменяет поле скоростей потока, в котором они работают, а срывающиеся с переднего винта концевые вихри, попадая на лопасти заднего винта, могут вызывать эрозионные их разрушения. Чтобы избежать этого, диаметр заднего винта рекомендуют делать на 6–12% меньше, чем переднего. Специфичны и условия взаимодействия СГВ с корпусом судна, обусловленные их расположением относительно корпуса. Передний винт обычно оказывается расположенным ближе к корпусу, а задний, размещаемый, как правило, на внутреннем концентрическом валу, более удаленным от корпуса, чем одиночный ГВ. Благодаря некоторому выравниванию нагрузки по диску винтов, а также снижению скоростей потока вблизи корпуса коэффициент засасывания t оказывается меньше, чем при использовании одиночного ГВ. Коэффициент же попутного потока w вследствие меньшего диаметра СГВ возрастает. Эти особенности изменения величин t и w могут привести к увеличению на 5–7% полезного коэффициента влияния корпуса. Особенно заметны преимущества СГВ в условиях взаимодействия с корпусом при сравнении с обычной двухвальной установкой.

К настоящему времени проведены систематические испытания серий моделей СГВ, позволяющие путем вариаций в сочетаниях дискового и шагового отношений,

числа лопастей, характеристик формы профилей их сечений получать различные варианты соосного комплекса. Исследованиями установлено, что с точки зрения эффективности действия СГВ оптимальным является распределение потребляемой мощности между передним и задним винтами поровну.

Список литературы:

[1] Справочник по теории корабля. Судовые двигатели и управляемость./ Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов –Л.; Судостроение 1973.- 511 с.