

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХОДКОСТИ СКОРОСТНЫХ СУДОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИНТОВ С ПОДВИЖНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ЛОПАСТЕЙ НА СТУПИЦЕ

Анатолий Р. Тогуняц

ГЦНИИ Гипрорыбфлот

М. Морская 18-20, 190000, С-Петербург, Россия

Андрей В. Печенюк

Компания компьютерных морских технологий

Люддорфская дорога 92/94, оффис 603, Одесса, Украина

Леонид И. Вишневский

ЦНИИ им. академика А.Н.Крылова

Московское шоссе 44, 196135, С-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Приводятся сведения о результатах исследований работы винта с подвижным креплением лопастей на ступице. Поясняется принцип работы такого движителя. Отмечаются его преимущества перед ВФШ, обеспечивающие повышение ходовых качеств судов различного назначения. Сказанное подтверждается примерами.

ВВЕДЕНИЕ

Уже более двух десятилетий наблюдается заметный интерес к необычным гребным винтам с подвижным креплением лопастей (ВПКЛ). Конструктивной особенностью этих движителей является то, что лопасти имеют "свободу" перемещения относительно ступицы.

К настоящему времени предложен ряд конкретных конструкций ВПКЛ. В обеспечение их создания выполнены проектно-исследовательские работы и натурные испытания. Наиболее полные такие работы относятся к ВПКЛ со "свободно" перемещающимися лопастями около рабочего положения на ступице в плоскости своего диска винта. Рабочее положение лопастей такого движителя определяется действием гидродинамической и центробежной, восстанавливающей силы.

СРАВНЕНИЕ ВПКЛ С ВРШ

Интерес, проявляемый к ВПКЛ, объясняется тем, что они в значительной мере могут исполнять функции винтов регулируемого шага (ВРШ), обеспечивая в первую очередь эффективную переработку мощности в широком диапазоне изменения режима работы движителя. Такие режимы неизбежно возникают при движении судна на промежуточных ходах. На них винт

фиксированного шага (ВФШ), спроектированный как оптимальный движитель из условия достижения наибольшей скорости хода судна на тихой воде, не позволяет реализовать имеющиеся резервы в улучшении ходовых его качеств во всем спектре эксплуатационных условий. В то время как правильный

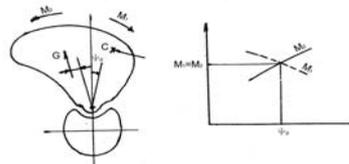


Рис. 1. Принцип работы ВПКЛ.

спроектированный ВПКЛ лишен указанного недостатка. Лишен такого же недостатка и ВРШ. Однако для перекадки его лопастей необходим силовой привод, являющийся достаточно дорогим и сложным устройством, требующим специального обслуживания в процессе своей эксплуатации. Помимо этого, при использовании масляного гидравлического привода всегда существует опасность утечки масла в окружающую среду и, тем самым, экологическое ее загрязнение.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ВПКЛ.

Принцип работы ВПКЛ прост. Для его пояснения на рис.1 показана схема

действующих сил на вращающуюся в его составе лопасть, перемещающуюся а ступице относительно шарнира А в плоскости диска. Результаты исследований

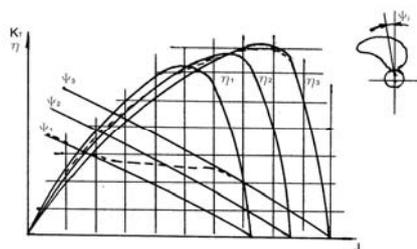


Рис. 2. Гидродинамические характеристики ВПКЛ.

Обозначения относятся:
 — фиксированным лопастям;
 - - - «свободным» лопастям.

показали, что относительно перемещению лопасти в направлении противоположном ее вращению вместе с двигателем, соответствует увеличение момента от центробежной силы M_1 и уменьшение момента от гидродинамических сил M_2 . При отклонении же лопасти в противоположном направлении наблюдается обратная картина. Таким образом, при работе ВПКЛ положение лопасти на ступице определяется равенством действующих взаимно противоположных моментов. Причем в зависимости от режима работы двигателя (относительной поступи), положение лопасти на ступице будет разным. При этом изменяются в сравнении с винтом с неподвижными лопастями его гидродинамические характеристики, поскольку указанные перемещения (относительно шарнира А, несовпадающего с осью двигателя) приводят к изменению геометрических характеристик винта (см. рис. 2). Характерным для этого изменения является то, что гидродинамические характеристики этого двигателя (см. рис.2) вследствие перемещения лопастей относительно ступицы более пологие по отношению к горизонтальной оси. Более того, геометрические характеристики ВПКЛ могут быть выбраны так, что во всем спектре режимов его работы он способен перерабатывать полную мощность главного двигателя, не перегружая его вне зависимости от условий плавания судна. Это важное качество ВПКЛ, поскольку при проектировании ВФШ, как правило, стремятся гидродинамически облегчить его в эксплуатационных условиях вследствие

действия волнения, обрастания корпуса и т. д. Здесь такой "заботы" проявлять необходимости нет. Исключение этого запаса при применении ВПКЛ позволяет получить большую максимальную скорость судна на тихой воде и, тем самым, повысить его ходовые качества.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1. Тихоходные суда. Выполненные исследовательские проработки ВПКЛ применительно к теплоходу "Ладога" (см. рис.3) смешанного плавания типа река-море, показали, что годовой экономический эффект за счет увеличения полного хода теплохода в эксплуатационных условиях, отличающихся от условий тихой и глубокой воды, и связанный с сокращением эксплуатационных его расходов при условии равенства обеспечиваемого им грузооборота составляет более 10000\$ в год. Этот эффект может существенно возрасти, если годовой экономический эффект связывать с фрахтованием теплохода. Однако, в этом случае его величина будет существенно зависеть от конъюнктуры, складывающейся на рынке в данном регионе.



Рис.3. Общий вид судна река-море "Ладога"

Другой путь использования ВПКЛ может быть связан с повышением тяговых характеристик судна. Дело заключается в том, что ВФШ, будучи спроектированный на переработку полной мощности с целью достижения максимальной скорости хода, не позволяет использовать имеющиеся резервы мощности в условиях буксировки того или иного объекта из-за ограничения потребляемой мощности в зависимости от оборотов. На рис. 4 представлены расчетные данные, относящиеся к траулеру, откорректированные по результатам натурных испытаний и подтверждающие сказанное. Из них видно, что его ходовые качества в случае оснащения ВПКЛ и теми же двигателями, но зафиксированными

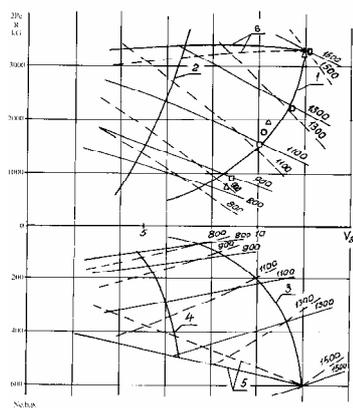


Рис.4. Паспортная диаграмма траулера, оборудованного ВПКЛ.
Обозначения относятся:
—— ВПКЛ; - - - ВФШ; □, ○ натурным данным.

лопастями на ступице практически равноценны (кривые 1,3). В то же время на режимах траления (кривые 2,4) из-за ограничительных характеристик главного двигателя (кривая 5) ВПКЛ позволяет перерабатывать большую мощность. Это обеспечивает траулеру более высокие тяговые характеристики. В данном примере скорость траления увеличивается на 0,4 узла, а тяга на гаке - на 350 кг. Общий вид ВПКЛ, установленных на траулере, представлен на рис.5.



Рис. 5. Общий вид ВПКЛ, установленных на траулере.

Этот результат объясняется подвижностью лопастей на ступице. При увеличении нагрузки на движитель лопасти у ВПКЛ перемещаются в сторону уменьшения шага (отрицательных углов Ψ , см. рис. 2), что приводит к снижению гидродинамического момента на движителе и в случае поддержания отбора мощности к необходимости увеличения числа оборотов, т.е. к смещению режима работы дизеля в область повышенных оборотов (см. рис.4), где его ограничительная характеристика позволяет производить отбор большей мощности, что и приводит к повышению тяговых характеристик траулера.

3.2. Гидродинамические характеристики ВПКЛ. В ходе проектирования ВПКЛ применительно к судну типа река-море «Ладога» и траулера широко использовался программный продукт “Flow Vision” (FV), позволяющий определять гидродинамические характеристики ВПКЛ. В этом программном продукте используется модель течения, предназначенная для моделирования при больших числах Рейнольдса и малых изменения плотности. Используемая модель турбулентности основана на стандартной К-Е модели. При расчете используют уравнения Навье-Стокса, турбулентной энергии и скорости диссипации турбулентной энергии. FV использует прямоугольную расчетную сетку, которая адаптируется к решению и границам расчетной области. Аппроксимация криволинейных границ с высокой степенью точности обеспечивается использованием метода под сеточного разрешения геометрии. Расчетная сетка генерируется автоматически. На рис. 6, 7, 8, и 9 представлены в качестве примера результаты построения геометрической модели винта и результаты гидродинамического моделирования. Необходимость моделирования была вызвана получением гидродинамических характеристик винта при отклонении лопастей от конструктивного положения на ступице.

3.3. Быстроходные суда. Работы по проектированию ВПКЛ применительно к быстроходным судам были выполнены для патрульного судна (см. рис. 10) и быстроходного судна на подводных крыльях (см. рис. 12). Патрульное судно имело три вала: два бортовых и один средний для форсированного хода. Общая мощность ГЭУ составляла $\sum N_e = 2 \cdot 10000 + 20000$ кВт. Проектные проработки показали, что максимально достижимая скорость хода у патрульного судна составляет около 50 узлов. При этом скорость патрульного хода равна 14 узлов не обеспечивается бортовыми винтами из-за их гидродинамической перегрузки. Проектирование бортовых винтов на патрульную скорость хода приводит к заметным потерям форсированной скорости хода. Вместе с тем использование ВПКЛ в качестве бортовых движителей позволяет обойтись без потери скорости полного хода и обеспечить экономию топлива (см. рис. 11).

Результаты проектирования для судна на подводных крыльях показали, что ВПКЛ

полного хода при выходе на крыльевой режим (см. рис. 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, давая оценку перспективам применения ВПКЛ как средства улучшения эксплуатационных

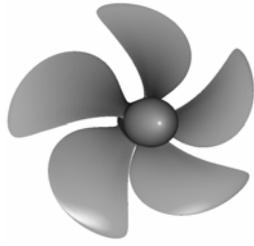


Рис. 6. Расчетная модель винта.

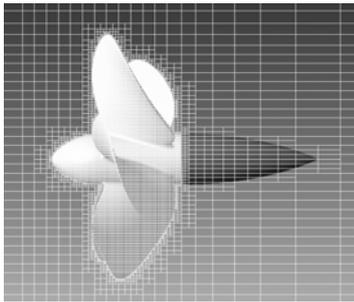


Рис.7. Расчетная сетка.

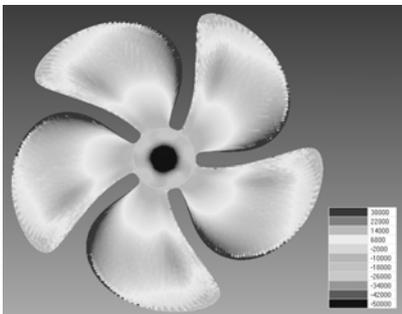


Рис.8. Распределение давлений по нагнетающей поверхности лопастей

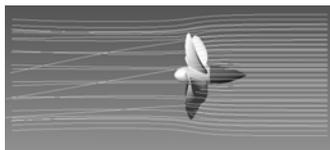


Рис.9. Линии тока

позволяет преодолевать ему «горб» сопротивления без потери скорости



Рис. 10. Общий вид патрульного судна.

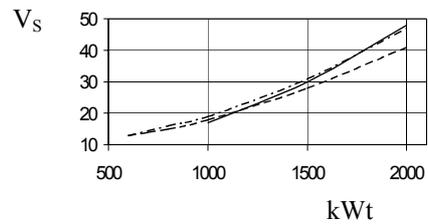


Fig.11. Зависимость скорости патрульного судна от мощности.

— ВФШ, спроектированные на максимальную скорость хода;
 ---- ВФШ, спроектированные на максимальную скорость хода FPP.;
 - . - ВПКЛ.

качеств транспортных судов, следует сказать, что в настоящее время в институте разработаны методические материалы для их проектирования, накоплен опыт их создания, имеются натурные данные о их эффективности. Это дает основание обеспечивать проведение работ по созданию ВПКЛ применительно к судам различно назначения в кратчайшие сроки.



Рис.12. Судно на подводных крыльях.

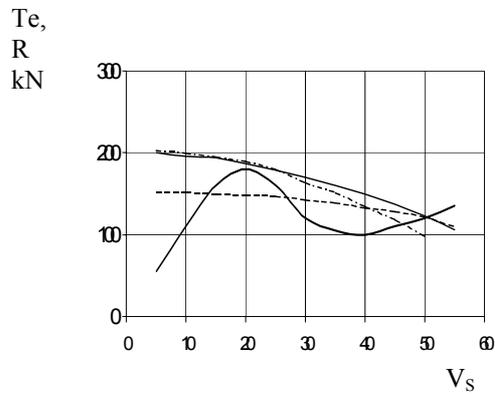


Рис.13. Сопротивление судна (R) и тяговые характеристики винтов (T_e) в зависимости от скорости.

_____ R ; ---- T_e для ВФШ, спроектированного на максимальную скорость хода; ___ . ___ T_e для ВФШ, спроектированного для преодоления «горба» сопротивления; ____ T_e ВПКЛ.

ЛИТЕРАТУРА

Вишневецкий Л.И., Зубахин В.Ф., Сизов И.И.

Особенности конструкции и перспективы применения винтов с подвижным креплением лопастей на транспортных судах.

Труды международной конференции "Военно-морской флот и судостроение в современных условиях", СПб, 1996.