

УДК 629.12.001.33

А.А. Кеслер, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ВИНТО-РУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ: КОНСТРУКТИВНЫЕ ТИПЫ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Ключевые слова: винто-рулевая колонка, главный двигатель, конструктивный тип, грузовое судно, пропульсивный комплекс.

Представлены конструктивные типы винто-рулевых колонок и рекомендации по их применению на судах. Показаны сравнительные достоинства и недостатки грузовых судов смешанного (река-море) плавания, оборудованных ВРК.

На отечественных судах внутреннего и смешанного (река-море) плавания в основном используется движительно-рулевой комплекс (ДРК), принципиальная схема которого представлена на рис. 1.



Рис. 1 Состав традиционного движительно-рулевого комплекса

В этом случае главный двигатель размещается на днище судна в машинном отделении, а передача вращающего момента на винт осуществляется посредством гребного вала, имеющего значительную длину. Для создания рулевой силы используется перо руля или поворотная насадка винта; при этом ось вращения винта не меняет своего положения относительно корпуса судна. Такую схему ДРК будем именовать – «традиционная».

Во второй половине прошлого века в зарубежном судостроении начали применять транцевые винто-рулевые колонки (ВРК); они устанавливаются, в основном, на речных судах грузоподъемностью до 1000 т (рис. 2).

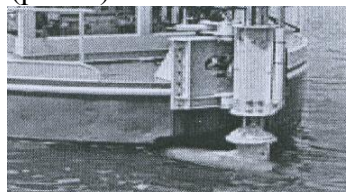
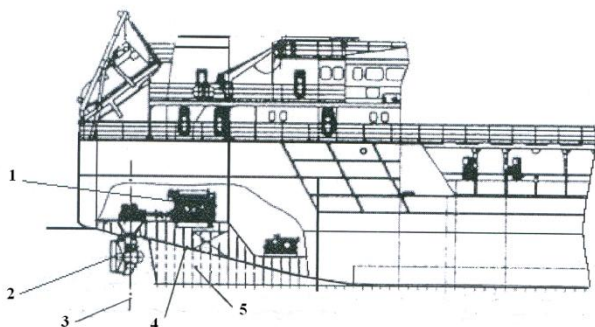


Рис. 2. Навесная винто-рулевая колонка на корме судна

Навесные ВРК располагаются за пределами днища корпуса судна. В зависимости от модели угол поворота колонки (угол поворота оси винта в горизонтальной плоскости) может составлять от 40° до 360°; за счет этого создается рулевая сила. Передача мощности от главного двигателя на винт навесной ВРК осуществляется либо по Z-образной схеме с помощью валов, либо гидравлическим способом с использованием гидромотора, размещенного в гондоле за винтом (рис. 2).

На современных крупнотоннажных судах ВРК крепится на днище судна. Так, на рис. 3 представлена кормовая оконечность танкера смешанного (река-море) плавания

грузоподъемностью около 5000 т, оборудованного двумя дизельными двигателями по 1120 кВт и двумя ВРК немецкой фирмы Schottel. Двигатели при этом размещены вблизи ВРК, а подача вращающего момента на винт в насадке (см. также рис. 4) осуществляется с помощью валов по Z-образной схеме. Конусообразная часть колонки закреплена на днище судна, а находящаяся ниже поверхности днища – удерживается с возможностью ее поворота вокруг вертикальной оси на угол до 360°. На рис. 4 представлен опытный образец ВРК отечественного производства типа ВРК 1200, которую предполагается устанавливать, в том числе, на грузовых судах смешанного (река-море) плавания. Эта колонка имеет винт фиксированного шага диаметром 1,9 м, отвечает требованиям ледового класса Ice2 и рассчитана на подводимую мощность 1200 кВт.



1 – главный двигатель; 2 – винто-рулевая колонка;
3 – ось поворота колонки; 4 – поверхность днища;
5 – диаметральный киль на днище

Рис. 3. Кормовая оконечность судна проекта 005RST01 с вырывом в районе главного двигателя и расположения ВРК



Рис. 4. Отечественная ВРК производства НПО «Винт»

Для морских ледоколов ВРК выполняются с открытыми винтами. Так, финская компания Steerprop Ltd поставит ВРК (рис. 5) на два отечественных ледокола проекта 21900М, которые строятся на Выборгском судостроительном заводе [1]. На каждом ледоколе будут установлены по две полноповоротные колонки с механическим приводом на подводимую мощность 9000 кВт (каждая): они будут отвечать требованиям ледового класса Ice7 Российского морского регистра судоходства.

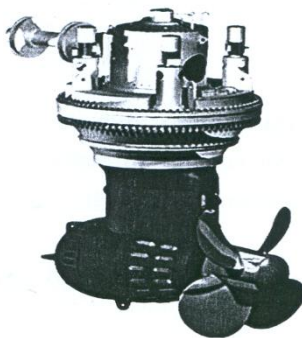


Рис. 5. ВРК компании Steerprop Ltd для ледокола

В тех случаях, когда ВРК должна обеспечить создание значительной силы упора при ограниченной осадке судна (при ограничении по диаметру винта), фирма Schottel предлагает использовать ВРК с двумя соосными винтами, вращающимися в противоположных направлениях, и электродвигатель, размещенный в гондоле (рис. 6 и 7).

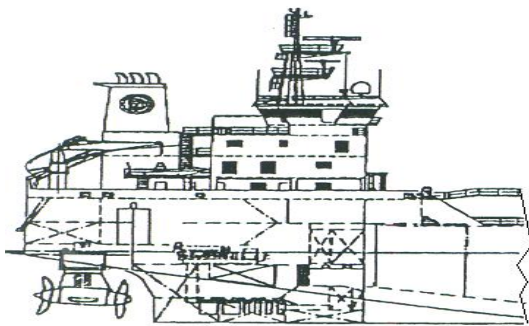


Рис. 6. Кормовая оконечность китайского танкера с двухвинтовой ВРК

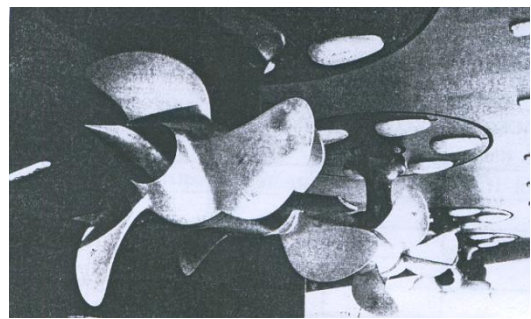


Рис. 7. Четыре двухвинтовые колонки на речном круизном судне «А-Rosa Aqua»

В некоторых случаях применение в составе ВРК двух соосных винтов с противоположным вращением позволяет, по сравнению с одновинтовой ВРК, повысить пропульсивный к.п.д. на (6...8)%.

Компания Schottel специально для речных круизных судов разработала пропульсивный комплекс, включающий четыре ВРК, каждая из которых включает два винта. Отмечается, что такое решение особенно подходит для судов, эксплуатирующихся на мелководье [2]. Для управления таким судном используются два джойстика – отдельно для двух ВРК правого и левого бортов. Также сообщается, что «за последние пять лет комплексами из четырех ВРК оборудовано около 40 европейских судов, которые могут плавать с уменьшенной до 1,6 м осадкой. Среди них – серия судов типа «А-Rosa Aqua», имеющих длину 135 м и пассажировместимостью около 200 человек».

Работы по совершенствованию ВРК продолжаются.

ВРК устанавливаются на круизных лайнерах, контейнеровозах, танкерах, в том числе арктического плавания, ледоколах, паромах, гидрографических и рыбодобывающих судах, а также буксирах, плавкранах и вспомогательных плавсредствах. По сравнению с традиционным движительно-рулевым комплексом ВРК имеют ряд преимуществ:

- ВРК улучшают маневренные качества судна, возможен реверс за счет разворота колонок без изменения направления вращения гребных валов, а в некоторых случаях – движение судна лагом;
- Упрощение компоновки и монтажа механического оборудования за счет отказа от длинного валопровода и возможности размещения главных двигателей вне машинного отделения.
- Монтаж, демонтаж и ремонт ВРК можно выполнять в более сжатые сроки, так как ВРК представляет собой сборочно-монтажную единицу.

Широкое применение ВРК получили на грузовых судах, спроектированных Морским инженерным бюро (МИБ, г. Одесса, Украина) (табл. 1): проекты 006RSD05, RSD19, RSD17, 005RSD03, RSD12; теплоход проекта 17620 разработан ОАО «Черноморсудопроект». Ниже представлен сравнительный анализ судов с ВРК и судов с традиционными вариантами движительно-рулевого комплекса, характеристики которых даны в табл. 1.

Таблица 1 – Суда смешанного (река-море) и прибрежного плавания

№ проекта, наименование головного судна	Пр. 006RSD05, «Гейдар Алиев»	Пр. RSD19, «Хазар»	Пр. RSD17, «Мирза Халилов»	Пр. 005RSD03, «Карелия»	Пр. RSD12, типа «Азов Макс»	Пр. 17620, типа «Буг»
Класс судна	КМ ☉ ЛУ1 ☐ ПА1	☐ КМ ☉ ЛУ2 I A1	КМ ☉ ЛУ2 I A1	КМ ☉ ЛУ2 II СПАЗ	КМ ☉ ЛУ1 II A1	КМ ☉ ЛУ2 I A1

Длина по КВЛ, м	134,0	135,0	117,0	105,8	136,3	122,4
Ширина по КВЛ, м	16,5	16,5	16,5	16,5	18,0	16,6
Высота борта, м	6,0	6,0	6,2	5,5	6,0	6,7
Осадка, м: река/море (ЛКВЛ)	3,6 / 4,6	3,6 / 4,6	- / 5,06	- / 4,8	- / 4,77	- / 4,86
Количество и мощность (кВт) главных двигателей	2×1120	2×1120	1×2450	2×1020	2×1520	1×1935
Количество движителей и рулей	2 ВПК «Schottel» SRP-1010 FR	2 винта в неповоротных насадках, 2 руля	1 ВРШ, руль Беккера	2 ВПК типа US155FP Aquamaster	2 ВПК	1 ВРШ в неподвижной насадке, 1 руль
Скорость хода при осадке по ЛКВЛ, км/ч, при % от МДМ	21,8 (100%)	22,0 (85%)	22,2 (85%)	19,5 (90%)	20,5 (85%)	20,9 (при 1840 кВт)
Сокращения, принятые в табл.: ЛКВЛ – летняя конструктивная ватерлиния в море; ВРШ – винт с регулируемым шагом; МДМ – максимальная длительная мощность главного двигателя/						

Представляет интерес сравнить суда этих типов по поворотливости в режиме полного хода. Кривые траекторий циркуляции судов проектов RSD19 (традиционный ДПК) и 006RSD05 (установлены ВПК), а также проектов RSD17 (традиционный ДПК) и 006RSD03 (установлены ВПК) приведены по данным МИБ, в [3]; они позволяют сравнить их поворотливость при выходе на циркуляцию с полного хода и перекладке рулевого органа на 35°. Сравнение поворотливости судов по относительному диаметру циркуляции – $\bar{D}=D/L$ (где L – длина по КВЛ) показывает, что у судна с двумя ВПК (проект 006RSD05 или 006RSD03) значение \bar{D} примерно на 20% меньше, чем у сравниваемого судна (проект RSD19 или RSD17); то есть поворотливость судна в режиме полного хода при установке двух ВПК существенно лучше, чем при использовании традиционной схемы движительно-рулевого комплекса.

Применение ВПК на малых скоростях хода, в частности у причала, позволяет улучшить маневренность судна.

Анализ энергетической эффективности пропульсивного комплекса судна, оборудованного ВПК и судна с традиционной схемой движительно-рулевого комплекса можно выполнить по данным теплоходов проектов RSD12 и 17620 (см. табл. 1). Пропульсивный комплекс включает корпус судна – движители – двигатели; сопоставление его показателей по судам проектов RSD12 и 17620 дано в табл. 2. В качестве итоговых показателей, характеризующих ходкость сравниваемых судов определены: мощность, приходящаяся на 1 т полного водоизмещения (\bar{P}_d) и мощность – на 1 т дедвейта (\bar{P}_m). По этим показателям затраты мощности у судна пр. RSD12, превышают затраты теплохода пр. 17620 более чем на 10%. Это при том, что

водоизмещение у теплохода пр. RSD12 на 26% больше, а число Fr_L меньше на 8%, чем у судна пр. 17620. Известная из практики проектирования судов тенденция – у сопоставимого судна при увеличении водоизмещения удельные энергозатраты уменьшаются, в данном случае не выполняется. Более того, имеет место увеличение этого показателя с ростом водоизмещения.

Таблица 2 – Показатели пропульсивного комплекса судов

Показатель № проекта ----- Состав ДРК	$\bar{L} = \frac{L}{B}$, , при ЛКВ Л	$\bar{B} = \frac{B}{T}$, , при ЛКВ Л	Число Фруда, Fr_L	Коэффициент полноты водоизмещения, δ	Заданная скорость хода (v), км/ч	Мощность ГСЭУ при заданной скорости (P), кВт	Дедвейт при $T_{ЛКВЛ}$, (M), т	Водоизмещение при $T_{ЛКВЛ}$, (D), т	$\bar{P}_M = \frac{P}{M}$, кВт/т	$\bar{P}_D = \frac{P}{D}$, кВт/т
Пр. RSD12 ----- Две ВРК с ВРШ без насадок	7,57	3,77	0,155	0,905	20,5	2584	8010	10660	0,32 2	0,242
Пр. 17620 ----- Один ВРШ в неподвижной насадке, 1 руль	7,37	3,42	0,168	0,87	20,9	1840	6355	8610	0,29	0,214
Относительное значение показателя пр. RSD12 пр. 17620	1,027	1,102	0,923	1,040	0,981	1,404	1,260	1,240	1,11 0	1,131

Подтверждением вывода о более низкой энергетической эффективности пропульсивного комплекса судна с ВРК может служить сравнение показателей двух танкеров (проектов RST27 и 550Ам), разработанных МИБ. В работе [4] выполнены сравнительные расчеты по этим судам; результаты их приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты сравнительного расчета с учетом «выравнивания» (по [4]) параметров

№ проекта	Тип ДРК	L , м	T , м	Дедвейт, т	δ	V , км/ч	Fr_L	G , гр/кВт·ч	Q , гр/т·км
RST27	ВРК	137,1	3,6	5420	0,93	19,3	0,146	191	5,72
550А(м)	«традиционный»	128,6	3,6	4848	0,86	19,0	0,146	191	5,08

По данным табл. 3 можно заключить, что удельный расход топлива (Q) у судна проекта RST27 превышает этот показатель судна проекта 550Ам примерно на 12%.

Относительно худшие показатели по энергоэффективности пропульсивного комплекса грузовых судов, оборудованных ВРК можно объяснить следующими обстоятельствами.

- ВРК, в силу необходимости размещения в поле диска винта объемной конструкции его привода, имеют более низкий гидравлический к.п.д. по сравнению с винтом в составе традиционного комплекса. По данным автора статьи [5] за счет этого «пропульсивный к.п.д. снижается на (5...7)%».
- На грузовых судах, спроектированных МИБ и оснащенных ВРК, принята нетипичная (большая) полнота погруженного объема ($0,93 \geq \delta > 0,9$), что вызывает рост сопротивления воды движению судна.

Список литературы:

- [1] Информационный отдел. ВРК из Раума. – СПб. // Судостроение. 2013, № 1.
- [2] Информационный отдел. Четыре ВРК на судне. – СПб // Судостроение, 2014, № 3.
- [3] Егоров Г.В. Сухогрузное многоцелевое судно проекта RSD17 «Мирза Халилов» с повышенным экологическим классом / Г.В. Егоров, Ю.И. Исупов, В.И. Тонюк. – СПб. // Судостроение.– 2007. № 4, С. 14–19.
- [4] Рыбаков А.Н. Танкер проекта RST25 – сравнительный анализ. М. : // Korabel.ru, 2013, Вып. 1 (19).
- [5] Рабазов Ю.И. «Волго-Доны» лучше. – СПб. // Судостроение, 2012, № 3.