

СУДОСТРОЕНИЕ

Издается с 1898 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0039-4580

№ 4
2020
июль-август

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ

**ВОЕННОЕ
КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**

**СУДОВОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ
СУДОСТРОЕНИЯ**

ИСТОРИЯ



ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ВИНТОРУЛЕВАЯ КОЛОНКА

В. В. Становской, О. А. Цыганов, Е. В. Карпенко (ЗАО «Технология маркет»,
e-mail: tm@ec-gearing.ru)

DOMESTIC VERTICAL THRUSTER

V. V. Stanovskoy, O. A. Tsyganov, E. V. Karpenko (CJSC Technology Market)

УДК 629.5.07

В последнее время развитие арктического флота тесно связано с применением в судостроении винторулевых колонок (ВРК), представляющих собой объединение движительного и рулевого комплекса в одном агрегате. Это обусловлено целым рядом преимуществ перед традиционными движительными комплексами. Первоначально ВРК как главные движительно-рулевые устройства применялись на судах, предназначенных для работы в чистой воде и в лёгких ледовых услови-

выделить повреждения в зубчатых зацеплениях редукторов, которые работают в очень напряжённых условиях динамического позиционирования, при резких изменениях нагрузки или при воздействии на лопасти винта льдин или других массивных и твёрдых объектов [2]. К тому же высокие уровни вибрации верхней части ВРК приводят к преждевременному выходу из строя ее элементов и узлов, снижению ресурсных сроков эксплуатации из-за повышенных динамических нагру-

применение её для судов ледового класса и позволяющую использовать комплектующие изделия, выпускаемые в России.

Разработчики, имея огромный опыт в создании надёжных ресурсосберегающих передаточных механизмов и учитывая поставленные задачи, разработали ряд конструкций ВРК разного ледового класса и разных мощностей.

Первая задача была решена путём использования в редукторах ВРК эксцентриково-циклоидального зацепления (ЭЦ-зацепление).

ЭЦ-зацепление представляет собой принципиально новый вид зацепления колёс, в котором меньшее колесо имеет один или несколько криволинейных зубьев, профили которых в главных сечениях очерчены дугами окружностей 1 (рис. 1, а), эксцентрично смещённых относительно оси колеса, а зубья большего колеса в тех же сечениях очерчены участками циклоидальных кривых 2 (рис. 1, б) [4, 5].

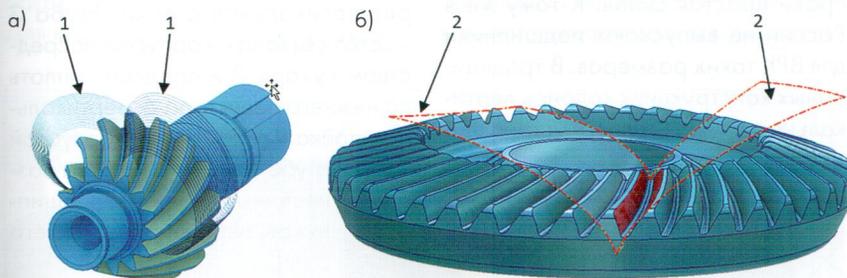


Рис. 1. Схемы образования шестерни (а) и колеса (б) в ЭЦ-зацеплении:
1 — дуги окружностей; 2 — циклоидальные кривые

ях. Со временем их стали устанавливать на судах ледового плавания и ледоколах [1].

В то же время по мере накопления опыта эксплуатации выявился целый ряд проблем, связанных с тем, что ледовые нагрузки от винта, передающиеся на другие элементы ВРК, могут в несколько раз превышать динамические нагрузки при движении в чистой воде. Безопасность движения судов определяется состоянием как механического, так и электрического оборудования ВРК. Так, для ВРК с механической передачей мощности на гребной винт можно

зок. В первую очередь страдают от повышенной вибрации подшипниковые узлы [3].

На отечественные суда устанавливаются ВРК производства зарубежных фирм, таких как ABB Group, Schottel, Wartsila, Steerprop и др. В случае возникновения поломок для замены повреждённых узлов требуются закупки за рубежом.

Таким образом, для успешного развития отечественного судостроения необходимо решить следующие задачи: повысить ресурс работы редукторов и создать конструкцию ВРК, учитывающую

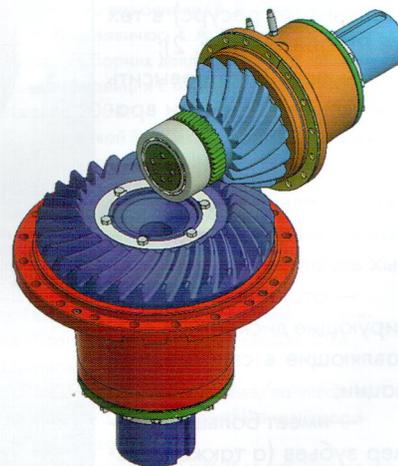


Рис. 2. Схема редуктора с ЭЦ-зацеплением

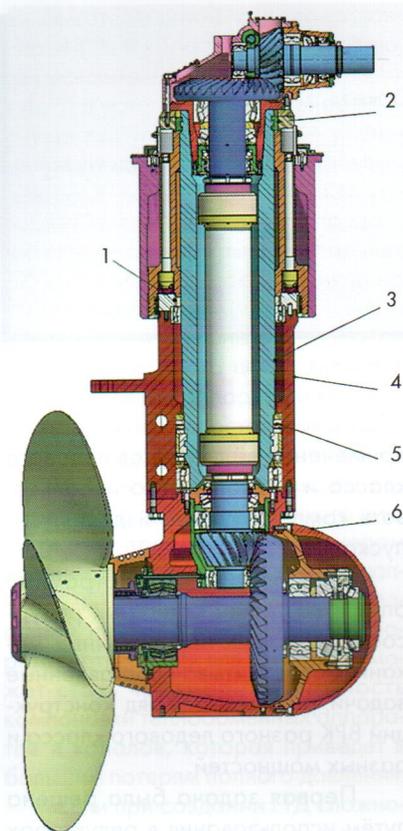


Рис. 3. Принципиальная схема ВРК:
1 — верхний подшипник; 2 — сухарь;
3 — труба; 4 — вертикальная стойка;
5 — нижний подшипник; 6 — нижний редуктор

Опыт реализации передач с ЭЦ-зацеплением позволяет говорить о следующих его преимуществах по сравнению с традиционными решениями:

- передаёт большой вращательный момент (или увеличивает ресурс) в тех же габаритах (рис. 2);
- позволяет повысить предельные скорости вращения;
- зацепление менее чувствительно к перекосам и изменениям межцентровых зазоров [6];
- отсутствуют демаскирующие дискретные составляющие в спектре вибрации;
- имеет больший размер зубьев (а также меньшее их количество, начиная от трёх), что делает ве-

роятность слома ножки зуба минимальной;

— при определённых параметрах можно создать ЭЦ-зацепление с точечным контактом в полюсе, которое работает без проскальзывания и имеет минимальные потери на трение, так как реализуется режим, близкий к чистому качению;

— для передачи максимального момента можно изменить параметры ЭЦ-зацепления и получить максимально возможное пятно контакта.

Использование в редукторах свойств ЭЦ-зацепления позволяет минимизировать потери, увеличить рабочую частоту вращения, увеличить передаваемую мощность в тех же габаритах либо уменьшить габариты редуктора с сохранением его передаваемой мощности [7, 8].

Для решения второй задачи потребовалось изменить саму конструкцию ВРК. Следует отметить, что подшипники, требуемые для мощных судов, не выпускаются серийно. Их проектируют и изготавливают на заказ, поэтому ремонтная замена подшипников выливается в длительные сроки простоя судов. К тому же в России не выпускают подшипники для ВРК таких размеров. В традиционных конструкциях колонок вертикальная стойка (баллер) устанавли-

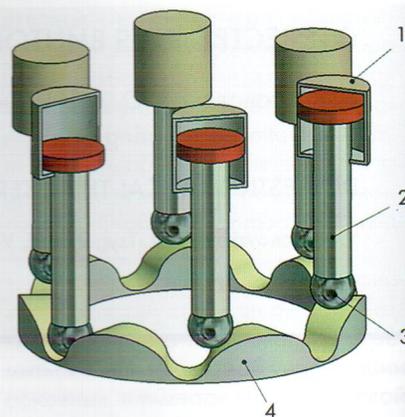


Рис. 4. Схема аксиально-поршневого гидропривода:
1 — поршни гидроцилиндров;
2 — толкатели; 3 — шарики; 4 — торцовый кулачок

вается в корпусе на подшипниках, которые располагаются снаружи баллера. Они имеют большие радиальные размеры, достигающие несколько метров.

В конструкции ВРК (рис. 3) вертикальная стойка 4 посажена на корпусный элемент в виде трубы 3 на подшипниках, расположенных внутри вертикальной стойки. Труба 3 жестко связана с корпусом посредством сухаря 2 и продлена вплоть до нижнего редуктора 6. Вертикальная стойка 4 посажена на корпусной трубе 3 с помощью пары разнесённых вдоль оси подшипников, верхнего 1 и нижнего 5 [9].

Такая посадка вертикальной стойки на трубу позволяет уменьшить нагрузки на опорные подшипники и значительно сократить их диаметральные размеры. Уменьшение размеров подшипников позволяет изготавливать их в России, для ряда номиналов ВРК появляется возможность использовать стандартные подшипники, что снимает зависимость от поставок деталей из-за рубежа.

Для этой же ВРК разработан механизм поворота (МП) в виде аксиально-поршневого гидропривода на основе дифференциального кулачкового механизма (рис. 4). В этом случае на поверх-



Рис. 5. ВРК 2500 на сборочном стенде



Рис. 6. Колеса и шестерни изготовленного редуктора

ности колеса, закреплённого на верхнем конце вертикальной стойки, выполнен многократно повторенный торцовый кулачок 4. С ним взаимодействуют толкатели 2 с шариками 3, связанные с поршнями гидроцилиндров 1, причём число толкателей отличается от числа циклов торцового кулачка. Данная конструкция МП является удачным вариантом для ВРК, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации. К примеру, шуга или лёд, или другие массивные и твёрдые объекты на пути судна оказывают на винты дополнительные нагрузки, под действием которых возникает поток обратной мощности на МП. Для колонок с МП на основе зубча-

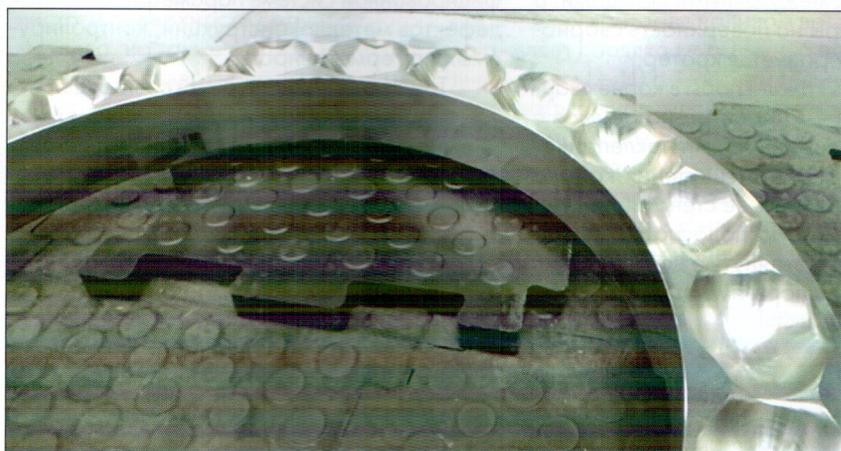


Рис. 7. Торцовый кулачок механизма поворота

того зацепления это приводит к жёсткому удару и повреждению шестерён и зубчатых колёс МП. Применение аксиально-поршневого гидропривода уменьшит жёсткость удара путём изменения давления в гидроцилиндрах при обратном потоке мощности от ВРК [9].

В Челябинском индустриальном парке была собрана и испытана ВРК (рис. 5) для морского буксира ледового класса мощностью 2,5 МВт. В её производстве были учтены все разработки по ВРК и редукторам, указанные выше (рис. 6, 7). В конце июня 2019 г. был получен сертификата Российского морского регистра судоходства на ВРК 2500 [10]. Две ВРК были отправлены на Ярославский судостроительный завод и установлены на судне.

Направление на ускоренное освоение арктической зоны России обозначило задачу расширения ледокольного, грузового и вспомога-

ного флота. Это обуславливает необходимость обеспечения безаварийной эксплуатации ВРК. Так как суда ледового плавания и самоходные платформы подвергаются более значительным статическим и динамическим нагрузкам, то для них используют ВРК увеличенных размеров и по-

вышенной мощности, что во многих случаях уменьшает сопротивляемость нагрузкам и снижает манёвренность. Создание надёжной ВРК, способной работать в условиях длительного ледового дрейфа и плавания при наличии высоких ледовых нагрузок, а также снижение массы и габаритов ВРК без ущерба надёжности — это задачи над которыми работает коллектив разработчиков.

Литература

1. Решетов Н. А. Обеспечение безопасности главных винторулевых колонок в нормативной и надзорной деятельности регистра//Судостроение. 2002. № 1.
2. Иванченко А. А., Шишкин В. А., Окунев Н. В. Обзор опыта совершенствования конструкции и применения движительных систем в современном судостроении//Вестник ГУМПФ им. Макарова. 2016. Вып. 4 (38).
3. Гриценко М. В. Метод контроля вибрации винторулевых колонок морских судов и предложения по их совершенствованию: URL: <http://www.dslib.net/sudov-energoustanovki/metod-kontrolja-vibracii-vintorulevyh-kolonok-morskikh-sudov-i-predlozhenija-po-ih-sovershenstvovaniyu.html>
4. Становской В. В. и др. Новый вид зацепления колёс с криволинейными зубьями. Справочник/В. В. Становской, С. М. Казакиявичюс, Т. А. Ремнева, В. М. Кузнецов, А. М. Бубенчиков, Н. Р. Щербаков//Инженерный журнал. 2008. № 9 (138).
5. Пат. 2416748 РФ, также опубликован как: US № 8789437, EP № 2532926, EA № 018727. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей с криволинейными зубьями/Становской В. В., Казакиявичюс С. М., Ремнева Т. А., Кузнецов В. М., Становской А. В.
6. Kazakyavichyus S. M., Stanovskoy V. V., Remneva T. A. Performance of eccentric-cycloid engagement with change in the interaxial distance: Modification of tooth configuration//Russian Engineering Research. 2011. Vol. 31. No 3.
7. Становской В. В. и др. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых колёс и механизмы на его основе/В. В. Становской, С. М. Казакиявичюс, Т. А. Ремнева, В. М. Кузнецов//Сборник докладов научно-технической конференции с международным участием. Ижевск, 2008.
8. Становской В. В. и др. Расчёт циклоидально-эксцентрикового зацепления и механизмов на его основе/В. В. Становской, С. М. Казакиявичюс, Т. А. Ремнева, В. М. Кузнецов//Сборник докладов научно-технической конференции с международным участием. Ижевск, 2008.
9. Пат. 2681411 РФ. Винторулевая колонка/Становской В. В., Казакиявичюс С. М., Цыганов О. А., Попов А. В.
10. URL: http://konar.ru/news/na-vintorulevuyu-kolonku-poluchen-sertifikat-rossijskogo-morskogo-registra/?utm_referrer=korabel.ru%2Fnews%2Fcomments%2Fv_rossii_sertificirovali_unikalnuyu_vrk_dlya_sudov_ledovogo_plavaniya.html