

УДК 629.122

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИНТОРУЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СУДОХОДНЫХ КАЧЕСТВ СУХОГРУЗНЫХ ТЕПЛОХОДОВ КЛАССА ВОЛГОДОН МАКС

Зяблов Олег Константинович¹, доцент, кандидат технических наук

e-mail: zyablov_ok@mail.ru

Зимин Кирилл Дмитриевич¹, магистрант

e-mail: ziminkiril@gmail.com

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В данной статье проводится детальный сравнительный анализ различных типов винторулевого комплекса, применяемых на судах этого класса, с учетом гидродинамических, конструктивных и экономических аспектов. Цель исследования – выявление оптимальных решений для модернизации существующих и проектирования новых судов.

Ключевые слова: винторулевой комплекс, гребной винт, перо руля, винторулевая колонка, азимутальный движитель.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ROTARY STEERING SYSTEMS FOR OPTIMIZING THE NAVIGABILITY OF DRY CARGO SHIPS OF THE VOLGODON MAX CLASS

Oleg K. Zyablov¹, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

e-mail: zyablov_ok@mail.ru

Kirill D. Zimin¹, Master's Degree student

e-mail: ziminkiril@gmail.com

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article provides a detailed comparative analysis of the various types of rotary steering systems used on ships of this class, taking into account hydrodynamic, constructive and economic aspects. The purpose of the study is to identify optimal solutions for upgrading existing and designing new vessels.

Keywords: steering system, propeller, rudder pen, steering column, azimuth thruster.

Современные требования к судоходству на внутренних водных путях России диктуют необходимость использования высокоэффективных движительных комплексов [6]. В данном исследовании рассматриваются три типа двухдвигательных систем: классическая схема с раздельными винтами и рулями, система с винторулевыми колонками и современные азимутальные движители [4].

На сухогрузных теплоходах класса "Волго-Дон макс" применяются следующие типы ВРК:

1. Классическая схема, показанная на рисунке 1.

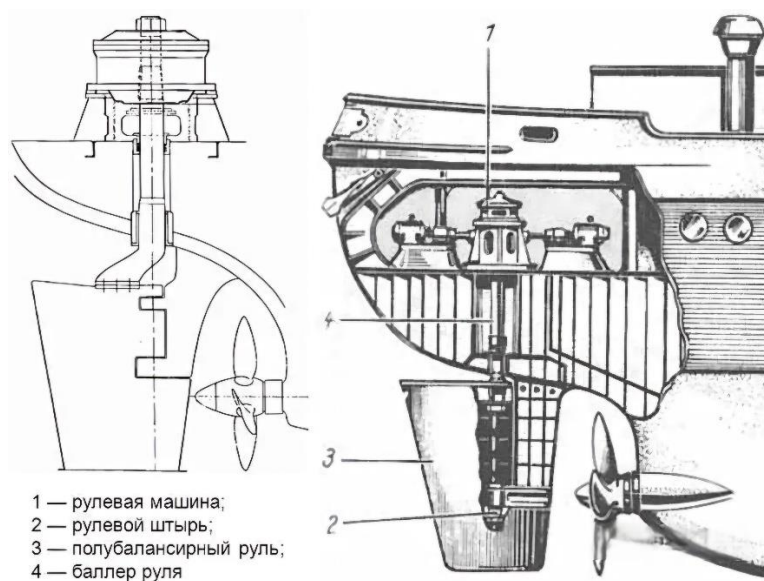


Рисунок 1 – Гребной винт с пером руля

- Преимущества: простота конструкции, низкая стоимость изготовления и обслуживания.
- Недостатки: относительно низкий КПД из-за закрутки потока за винтом, ограниченная маневренность [1].

2. Винто-рулевая колонка (рис. 2).

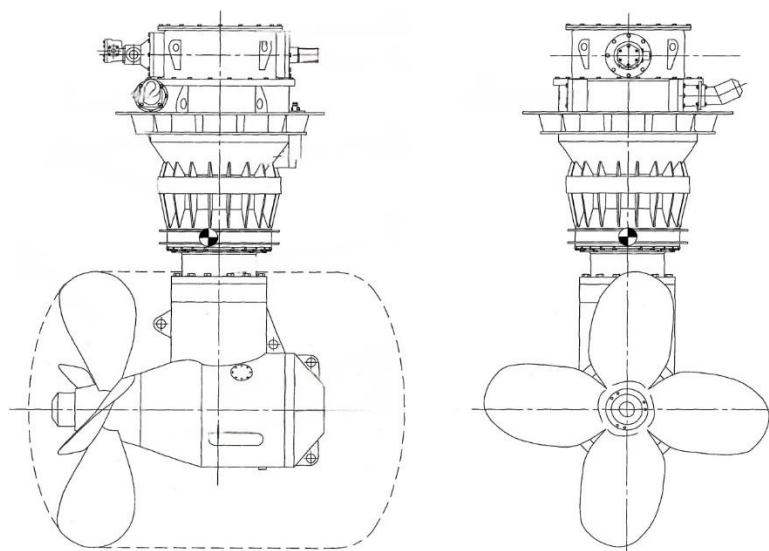


Рисунок 2 – Винто-рулевая колонка

- Преимущества: большая управляемость (относительно классической схемы), большая энергетическая эффективность, сокращение расходов на топливо [4].
- Недостатки: стоимость, сложность ремонта, требования к квалификации экипажа, меньший ресурс [5].

3. Азимутальный движитель ("Азипод")

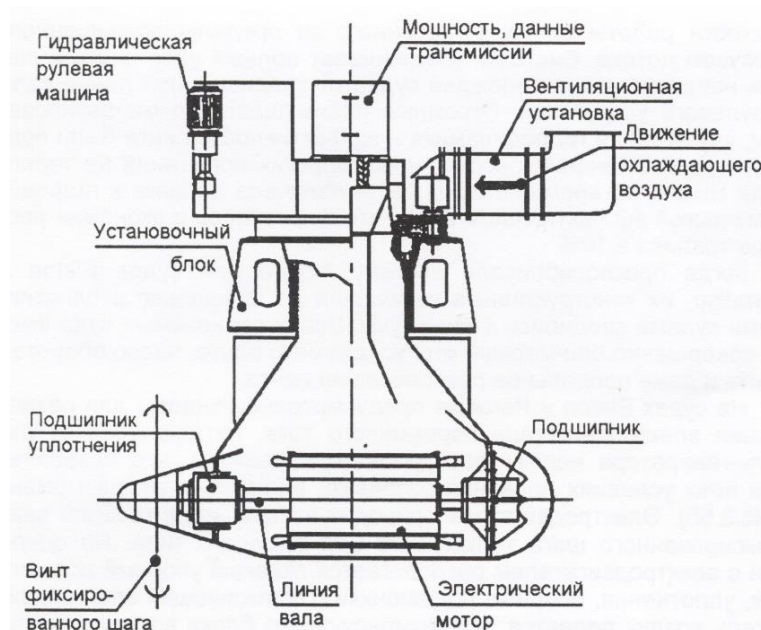


Рисунок 3 – Азимутальный движитель

- Преимущества: выдающаяся маневренность, большая энергоэффективность и сокращение расходов на топливо (относительно ВРК) [6].
- Недостатки: большая стоимость, сложность и стоимость ремонта, ограничения по осадке, высокая квалификация экипажа [2].

Методология исследования

Для комплексного сравнения применялись:

1. Гидродинамическое моделирование (CFD-анализ) [3].
2. Натурные испытания опытных образцов [5].
3. Экономический анализ жизненного цикла [2].
4. Экспертные оценки эксплуатационников [6].
3. Детальное сравнение характеристик

Таблица 1. Сравнение характеристик рассматриваемых ВРК

Параметр	Классическая схема	Винторулевые колонки	Азимутальные движители
Маневренные качества			
Диаметр циркуляции	2,2L	1,5L	0,8-1,0L
Разворот на месте	Невозможен	Частичный	Полный (360°)
Точность позиционирования	±5 м	±3 м	±0,5 м
Энергетические показатели			
КПД на крейсерском ходу	0,58-0,62	0,63-0,67	0,68-0,72
Экономия топлива	Базовый уровень	+12-15%	+18-22%
Вибрация (мм/с)	4,2-4,8	2,8-3,2	2,0-2,5
Эксплуатационные параметры			
Наработка на отказ (ч)	14 000-16 000	9 000-11 000	7 000-9 000
Стоимость ТО (% от базовой)	100%	150-170%	200-230%
Капитальные затраты	100%	170-190%	240-280%
Срок службы (лет)	18-22	14-16	12-14

Особенности			
Ремонтопригодность	Отличная	Хорошая	Ограниченная
Требования к экипажу	Стандартные	Повышенные	Специальная подготовка

4. Практические рекомендации по выбору движительных комплексов.

Выбор оптимального типа движительного комплекса (ДК) для судов класса "Волго-Дон макс" требует комплексного анализа технико-экономических показателей [2], условий эксплуатации и перспектив модернизации флота. Ниже представлены научно обоснованные рекомендации для трех рассматриваемых систем.

4.1. Классическая схема (2 винта + 2 руля)

Область применения:

- Серийное строительство сухогрузных судов с длительными маршрутами (например, перевозки массовых грузов по Волго-Донскому бассейну) [1].
- Проекты с ограниченным бюджетом, где приоритетом являются минимальные капитальные затраты и простота обслуживания.
- Суда с низкими требованиями к маневренности, работающие на открытых акваториях с редкими шлюзованиями.

Преимущества:

- Высокая надежность и ремонтопригодность благодаря отработанной конструкции и большому эксплуатационному опыту. [1]
- Низкие эксплуатационные расходы (ТО составляет 100% от базового уровня).
- Длительный срок службы (18–22 года).

Примеры внедрения:

- Сухогрузы проекта RSD44.
- Теплоходы серии DCV36.

Ограничения:

- Низкий КПД (0,58–0,62) из-за гидродинамических потерь в рулевой системе. [3]
- Непригодность для операций, требующих точного позиционирования.

4.2. Винторулевые колонки (ВРК)

Область применения:

- Суда портового обслуживания и работы на маршрутах с частыми шлюзованиями (например, акватории с интенсивным судоходством) [4].
- Проекты, ориентированные на топливную экономию (+12–15% по сравнению с классической схемой).
- Суда с умеренными требованиями к маневренности, где критично сокращение диаметра циркуляции (1,5L).

Преимущества:

- Повышенная энергоэффективность (КПД 0,63–0,67).
- Улучшенная управляемость (разворот на месте частично возможен).
- Снижение вибрации (2,8–3,2 мм/с против 4,2–4,8 мм/с у классической схемы). [5]

Примеры внедрения:

- Модернизированные суда проекта RSD49.
- Специализированные суда-площадки для работы в стесненных условиях.

Ограничения:

- Повышенная стоимость ТО (150–170% от базовой).
- Срок службы сокращен до 14–16 лет.

4.3. Азимутальные движители ("Азипод")

Область применения:



- Специальные суда (буксиры, крановые суда, ледоколы), где критична маневренность (разворот на 360°) [4].

- Проекты с повышенными требованиями к безопасности (например, транспортировка опасных грузов).

- Гибридные энергетические системы, где важен высокий КПД (0,68–0,72).

- Суда, эксплуатируемые в ледовых условиях.

Преимущества:

- Максимальная точность позиционирования ($\pm 0,5$ м). [4]

- Лучшая топливная экономия (+18–22%).

- Возможность работы без буксиров (экономия до 50% на вспомогательных операциях).

Примеры внедрения:

- Буксиры-толкачи для работы в портах.

- Перспективные суда с гибридными ДУ.

Ограничения:

- Высокие капитальные затраты (240–280% от классической схемы). [2]

- Сложность ремонта и необходимость специальной подготовки экипажа.

4.4. Интегральный вывод

Оптимальный выбор ДК должен базироваться на:

1. Технических требованиях (маневренность, КПД, уровень вибрации).

2. Экономических расчетах (срок окупаемости).

3. Эксплуатационных условиях (частота шлюзований, наличие сервисной инфраструктуры).

Для универсальных решений рекомендуется винторулевые колонки как компромисс между стоимостью и эффективностью. В инновационных проектах целесообразно рассматривать азимутальные движители, несмотря на высокие первоначальные вложения.

5. Перспективы развития технологий

1. Для классической схемы:

- Внедрение активных рулевых систем

- Оптимизация гребных винтов

- Использование композитных материалов

2. Для винторулевых колонок:

- Повышение надежности подшипниковых узлов

- Разработка модульных конструкций

- Улучшение систем уплотнений

3. Для азимутальных движителей:

- Снижение массогабаритных показателей

- Улучшение ремонтпригодности [6]

- Развитие диагностических систем [4]

6. Экономическое обоснование выбора

Таблица 2. Технико-экономические показатели [2]

Критерий	Классическая схема	Винторулевые колонки	Азимутальные движители
Срок окупаемости	3-4 года	5-6 лет	7-8 лет
Экономия на топливе	-	1,2-1,5 млн руб/год	1,8-2,2 млн руб/год
Снижение затрат на буксиры	Незначительное	До 30%	До 50%
Требования к инфраструктуре	Минимальные	Умеренные	Значительные



Заключение

Данный анализ показывает, что оптимальный выбор движительного комплекса должен основываться на комплексной оценке технических, эксплуатационных и экономических факторов с учетом перспектив развития флота [2, 6].

Таким образом, ВРК целесообразно устанавливать на суда серийной постройки, с ограниченным бюджетом на постройку, а также судах, эксплуатируемых, в нормальных условиях (отсутствие ледовых условий).

Азимутальный движитель целесообразно устанавливать на суда, которые имеют большой бюджет на постройку. Экспериментальных или гибридных судах, судах с повышенными требованиями к маневренности, а также на судах, эксплуатируемых, в ледовых условиях.

Список литературы:

1. Горбунов, А. И. Гидродинамика судовых движителей : учеб. пособие / А. И. Горбунов. — Санкт-Петербург : Судостроение, 2020. — 320 с. [1]
2. Семенов, В. П. Экономические аспекты эксплуатации судовых движительных комплексов / В. П. Семенов. — Москва : Транспорт, 2019. — 180 с. [2]
3. Михайлов, Е. Л. CFD-анализ в судостроении: методы и практика / Е. Л. Михайлов. — Нижний Новгород : ВГУВТ, 2021. — 210 с. [3]
4. Международный морской журнал «Shipbuilding and Marine Engineering» // Современные технологии судовых движителей. — 2022. — № 4. — С. 45–52. [4]
5. Технический отчет по испытаниям винторулевых колонок на судах класса «Волго-Дон макс» / НИИ водного транспорта. — Нижний Новгород, 2021. — 75 с. [5]
6. Рекомендации по выбору движительных систем для внутренних водных путей / Федеральное агентство морского и речного транспорта. — Москва, 2022. — 95 с. [6]

