

УДК 629.5.03

ТОРОИДАЛЬНЫЙ ГРЕБНОЙ ВИНТ И ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД КЛАССИЧЕСКИМИ ГРЕБНЫМИ ВИНТАМИ

Лукина Евгения Александровна¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: evair@yandex.ru

Петрунин Егор Николаевич¹, магистрант

e-mail: yegor.petrinin.00@indox.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе рассматривается перспективная конструкция судового движителя – тороидальный гребной винт. Проведён анализ геометрических особенностей данной схемы, отличающейся замкнутой формой лопастей. На основе литературных данных обоснованы потенциальные преимущества тороидального винта перед классическим: снижение кавитации, уменьшение шума и вибрации, повышение КПД на малых ходах. В рамках исследования построена 3D-модель тороидального винта в среде Autodesk Inventor Professional с заданными геометрическими параметрами. Определена методология проведения численного эксперимента в Ansys Fluent для сравнительного анализа гидродинамических характеристик. Результаты работы создают основу для количественной оценки эффективности тороидального движителя.

Ключевые слова: тороидальный гребной винт, судовой движитель, кавитация, CFD-моделирование, гидродинамические характеристики, численный эксперимент, Autodesk Inventor, Ansys Fluent.

TOROIDAL PROPELLER AND ITS ADVANTAGES OVER CLASSIC PROPELLERS

Evgenia A. Lukina¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: evair@yandex.ru

Egor N. Petrunin¹, Master's Degree student

e-mail: yegor.petrinin.00@indox.ru

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

Abstract. The paper considers a promising design of a marine propeller – a toroidal propeller. The analysis of geometric features of this scheme, characterized by a closed blade shape, is carried out. Based on the literature data, the potential advantages of the toroidal propeller over the classical one are substantiated: cavitation reduction, noise and vibration decrease, and efficiency increase at low speeds. Within the framework of the study, a 3D model of the toroidal propeller was built in the Autodesk Inventor Professional environment with specified geometric parameters. The methodology for conducting a numerical experiment in Ansys Fluent for a comparative analysis of hydrodynamic characteristics is determined. The results of the work create a basis for a quantitative assessment of the efficiency of the toroidal propulsion device.

Keywords: toroidal propeller, marine propulsor, cavitation, CFD-simulation, hydrodynamic characteristics, numerical experiment, Autodesk Inventor, Ansys Fluent.

Введение

Современное судостроение сталкивается с ужесточением экологических норм Международной морской организации (ИМО), включая введение индексов энергоэффективности EEDI и EEXI, а также ограничений по подводному шуму [1]. Одним из главных факторов, ограничивающих эффективность классических гребных винтов, является кавитация, приводящая к эрозии лопастей, вибрации корпуса, снижению коэффициента полезного действия (КПД) и увеличению подводного шума. При этом классические винты, принципиальная схема которых (открытые лопасти) не меняется с XIX века, практически исчерпали резерв для улучшения: дальнейшее повышение КПД даже на десятые доли процента требует колоссальных затрат. В связи с этим возникает необходимость перехода к принципиально новым схемам движителей. Перспективной альтернативой является тороидальный гребной винт, разработки которого в последнее время активно продвигаются зарубежными компаниями, в частности Sharrow Marine (США) [2]. Заявляемые производителем преимущества включают снижение шума до 40 %, рост топливной экономичности и отсутствие кавитации. Однако в открытой научной литературе практически отсутствуют систематизированные данные о гидродинамических характеристиках таких винтов – кривых упора, момента и КПД, что затрудняет объективную оценку их эффективности.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является исследование геометрических и гидродинамических характеристик тороидального гребного винта, а также оценка его эффективности по сравнению с классическим винтом. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Построить 3D-модель тороидального гребного винта с заданными геометрическими параметрами.
2. Обосновать методологию проведения численного эксперимента для моделирования обтекания винта.
3. Определить критерии сравнения гидродинамических характеристик тороидального и классического винтов.

Геометрические особенности тороидального винта

Классический гребной винт представляет собой конструкцию с открытыми лопастями, закреплёнными на ступице консольно. В отличие от него, тороидальный винт характеризуется тем, что каждая его лопасть замкнута в кольцо (петлю): лопасть начинается на ступице и замыкается сама на себя, образуя тороидальную форму (рис. 1). Главное геометрическое отличие – отсутствие свободного конца лопасти.

На основе анализа геометрии была построена 3D-модель тороидального винта в среде Autodesk Inventor Professional (рис. 2). Ключевые параметры модели: количество лопастей – 5, диаметр – 250 мм, дисковое отношение – 0,584. Форма петли представляет собой непрерывную замкнутую поверхность.



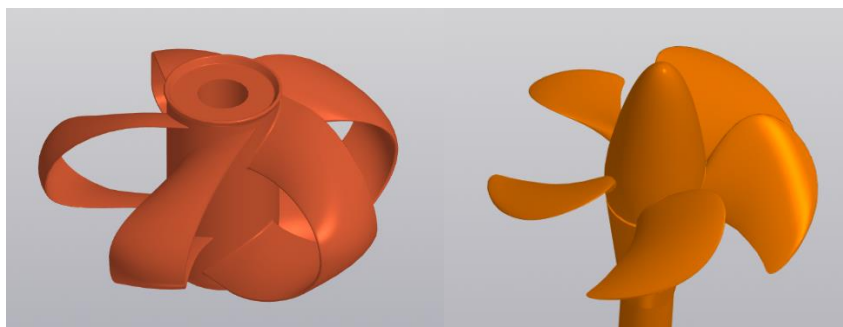
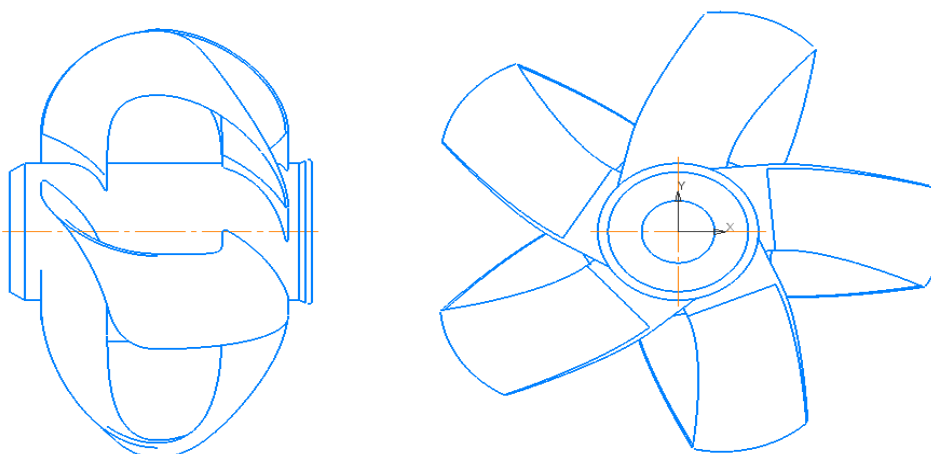


Рисунок 1 – Сравнение геометрии классического (справа) и тороидального (слева) гребных винтов



Диаметр винта D , мм	250
Диаметр ступицы d , мм	76
Отношение d/D	0,303
Дискоее отношение θ	0,584
Число лопастей z	5
Направление вращения	правое

Рисунок 2 – Чертёж тороидального винта с основными геометрическими параметрами

Потенциальные преимущества тороидального винта

Отсутствие свободного конца лопасти обеспечивает ряд принципиальных преимуществ:

1. Снижение кавитации. У классического винта концевой вихрь срывается с конца лопасти, создавая зону глубокого разрежения – очаг кавитации. У тороидального винта вихрь «размазывается» вдоль замкнутой кромки петли, что приводит к резкому снижению пиков разрежения.
2. Снижение шума и вибрации. Отсутствие схлопывания кавитационных пузырей исключает характерный шум. Плавное обтекание петли снижает пульсации давления на корпус судна.
3. Повышение КПД на малых ходах и при высокой нагрузке. Замкнутая форма лопасти работает как направляющая решётка, улучшая обтекание в условиях, где классический винт уже срывается в кавитацию [3].

Методология численного эксперимента

Для количественной оценки заявленных преимуществ и сравнительного анализа с классическим винтом необходимо провести численное моделирование обтекания. Основой для постановки численного эксперимента служат результаты работы Рагулина и соавторов [4], в которой обоснована возможность CFD-моделирования работы гребных винтов с соблюдением расчётной модели и параметров сетки. Из указанной работы заимствуются:

- геометрия и размеры международного испытательного гребного винта РРТС – для корректного сравнения;
- параметры CFD-расчётов: модель турбулентности, граничные условия, требования к сетке;
- подход к моделированию вращения винта;
- критерии оценки сходимости и достоверности результатов.

Это обеспечит корректную постановку численного эксперимента и объективность сравнения.

План исследований

Дальнейшее исследование предполагает выполнение следующих этапов:

1. Подготовка расчётной модели в Ansys Fluent (или Ansys FineMarine) на основе построенной 3D-геометрии.
2. Проведение численного моделирования обтекания тороидального и классического винтов в идентичных условиях.
3. Получение и сравнение кривых упора и момента, кривых КПД, а также картин кавитации.
4. Количественная оценка преимуществ тороидального винта на основе полученных данных.

Заключение

Проведённый анализ показывает, что тороидальный гребной винт является перспективной альтернативой классической схеме. Его ключевое преимущество обосновано геометрически: отсутствие конца лопасти исключает формирование концевых вихря, что приводит к снижению кавитации, шума и вибрации. В рамках работы построена 3D-модель тороидального винта с заданными параметрами, определены подходы к постановке численного эксперимента. Результаты создают основу для дальнейших CFD-исследований, направленных на количественную оценку эффективности тороидального движителя.

Список литературы:

1. Правила классификации и постройки судов. Российский морской регистр судоходства. – Часть VII. НД № 2-020101-174, 01.07.2024г. – <https://lk.rs-class.org/regbook/> (дата обращения: 26.06.2026 г.)
2. Sharrow Marine. Официальный сайт компании. – URL: <https://sharrowmarine.com/> (дата обращения: 01.06.2026 г.).
3. Войткунский, Я. И. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость / Я. И. Войткунский, Р. Я. Першиц, И. А. Титов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1983. – 480 с.
4. Рагулин, С. В. Обоснование возможности CFD-моделирования работы гребных винтов / С. В. Рагулин, [и др.] // Научный взгляд в будущее. – 2020. – Т. 1. – № 3. – С. 55-62.

