

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ФОКУСИРУЮЩЕЙ НАСАДКИ ГРЕБНОГО ВИНТА ДЛЯ ДВИЖИТЕЛЯ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Агалаков Д.А.¹

Научный руководитель: Хожаев И.В.²

¹ТПУ, ИШИТР, 8Т12, e-mail: daa48@tpu.ru

²ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, e-mail: ivh1@tpu.ru

Аннотация

В данной работе рассматривается методика расчета профиля и имитационного моделирования работы фокусирующей насадки гребного винта для движителя необитаемого подводного аппарата (НПА). В процессе выполнения работы был приведен алгоритм расчета геометрии профиля насадки, а также проведена оценка эффективности насадки.

Ключевые слова: фокусирующая насадка, гребной винт, необитаемый подводный аппарат, имитационное моделирование, гидродинамика, движительная система.

Введение

Современные необитаемые подводные аппараты (НПА) широко применяются для исследования морских глубин, мониторинга подводной инфраструктуры и выполнения специальных задач. Одним из ключевых элементов, определяющих эффективность НПА, является движительная система, где гребной винт с фокусирующей насадкой позволяет повысить КПД за счет оптимизации потока воды [1].

Актуальность работы обусловлена необходимостью снижения энергопотребления НПА при сохранении высоких тяговых характеристик. Как показали исследования [2, 3], применение фокусирующих насадок уменьшает кавитацию и гидродинамические потери. Однако существующие методики расчета требуют уточнения.

Целью данной работы является разработка алгоритма расчета профиля фокусирующей насадки и проведение имитационного моделирования для оценки её эффективности.

Основная часть

Принцип действия фокусирующей насадки

Фокусирующая насадка представляет собой кольцевое крыло, соосное с гребным винтом. Её жестко скрепляют с корпусом аппарата или с корпусом поворотной колодки.

Сечение насадки образует авиационный профиль, выпуклая часть которого обращена к гребному винту.

Положительное действие насадки заключается в создании дополнительного упора и в повышении КПД винта за счет повышения его относительной поступи вследствие сужения и ускорения потока воды в насадке. Насадка значительно уменьшает концевые потери, выравнивает подток воды к гребному винту, уменьшает сужение струи за винтом. Все это улучшает условия работы винта и повышает КПД.

Методика расчета насадки

Для расчета параметров насадки необходимо знать параметры гребного винта. В данной работе будет использоваться гребной винт “Алюминаут” с диаметром 0.65 метров [4].

Площадь входного отверстия насадки – площадь сечения на входе насадки. Входная площадь определяет количества воды, поступающей к винту.

Площадь выходного отверстия насадки – площадь сечения на выходе насадки. Выходная площадь определяет регулирует скорость потока. Уменьшение площади выходного отверстия приводит к росту скорости, а увеличение – к снижению скорости и росту давления.

Входная площадь насадки определяется по формуле [5]:

$$S_{ex} = \frac{\pi(D + 2\Delta)^2}{4}, \quad (1)$$

где $\Delta = (0.01 \div 0.02) \cdot D$ – зазор между винтом и насадкой, D – диаметр насадки.

Выходная площадь рассчитывается как:

$$S_{вых} = S_{ex} \cdot (1 - k_{уск}), \quad k_{уск} = 0.15 \div 0.25. \quad (2)$$

Площадь наименьшего поперечного сечения рассчитывается как:

$$S_{min} = \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}. \quad (3)$$

Диаметр наименьшего сечения находится по следующей формуле:

$$d_h = K_h \cdot D. \quad (4)$$

Благодаря формулам 1-4 получаем следующие значения:

$$S_{ex} = 0.339$$

$$S_{вых} = 0.288$$

$$S_{min} = 0.281$$

Из полученных выше значений необходимо найти коэффициент раствора α_n равный отношению площади входного отверстия насадки к площади её наименьшего поперечного значения:

$$\alpha_n = \frac{S_{ex}}{S_{min}} = 1.2 \quad (5)$$

На рис. 1 приведен заимствованный из работы [6] график для оценки эффекта от установки насадки. Приведенные кривые показывают изменения пропульсивного коэффициента, диаметра винта и его шагового отношения при установке насадки в зависимости от вспомогательного коэффициента, который равен 0.559.

$$K'_n = \lambda_p \cdot \sqrt{n} \cdot D \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot \lambda_p \cdot n \cdot D}{75 \cdot \eta \cdot N \cdot (1 - \omega)}}, \quad (6)$$

где

n – скорость вращения,

η – КПД,

λ_p – относительная поступь винта,

ρ – плотность морской воды,

ω – коэффициент попутного потока,

N – мощность двигателя.

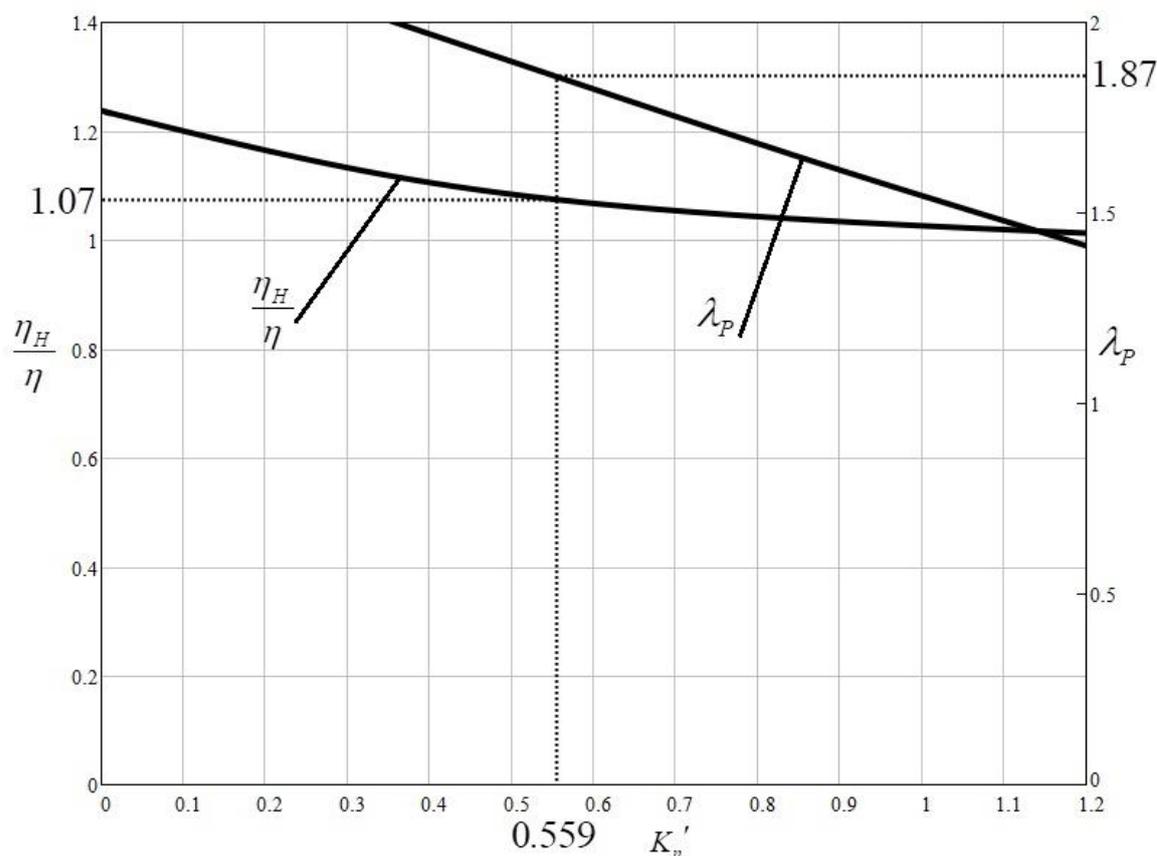


Рис. 1. График для оценки эффективности насадки

На графике откладываем полученный коэффициент K_n' равный 0.559.

Исходя из графика можно видеть, что применение насадки должно повысить КПД движительной установки на 7 %, а относительную поступь на 87%. Для получения этих значений отложим на горизонтальной оси рассчитанное ранее значение K_n' . Значения по левой и правой вертикальной оси показывают значения коэффициента повышения КПД винта и относительной поступи соответственно.

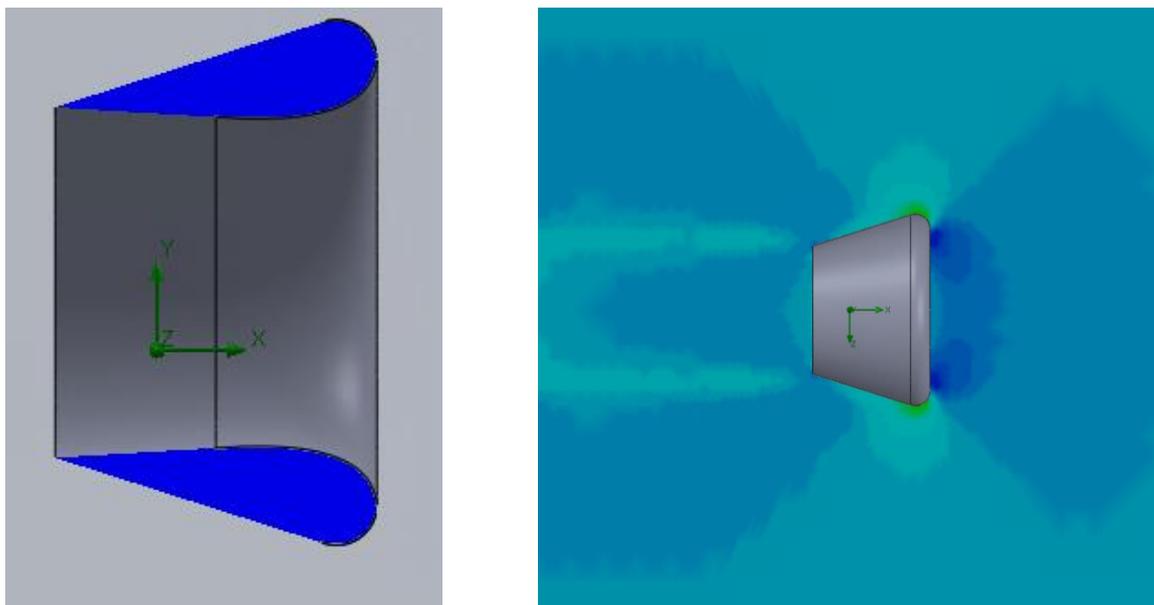
Алгоритм расчета параметров профиля насадки

Для расчета профиля насадки необходимо последовательно

1. Рассчитать площади по формулам (1-3).
2. Рассчитать коэффициент раствора по формуле (5).
3. Найти график для оценки эффективности насадки (Рис. 1), исходя из полученного значения коэффициента раствора.
4. Оценить эффективность насадки по значению вспомогательного коэффициента.
5. Убедиться в эффективности насадки при помощи имитационного моделирования.

Имитационное моделирование

В соответствии с рассчитанными в предыдущем разделе параметрами профиля при помощи средств автоматизированного проектирования была построена трехмерная модель фокусирующей насадки. Затем, при помощи программных средств вычислительной гидродинамики по методу конечных элементов было построено поле давлений, возникающее при обтекании насадки потоком жидкости со скоростью 1 м/с. В качестве жидкости для моделирования была выбрана вода, а целью моделирования – распределение давлений.



а) б)
 Рис. 2. Профиль насадки (а) и распределение давлений (б)

По распределению давлений на рис. 2 очевидно, что насадка фокусирует поток жидкости на гребной винт. Темным цветом на рисунке 2б обозначены области низкого давления, а более светлым – высокого давления. На входе и внутри насадки цвет темнее, чем снаружи, следовательно, давление внутри ниже, чем снаружи, а скорость внутри выше, чем снаружи. Также, исходя из результатов моделирования, насадка повышает скорость потока в сечении винта за счет формы профиля.

Заключение

Приведенное исследование позволило разработать алгоритм расчета профиля фокусирующей насадки гребного винта для необитаемых подводных аппаратов и подтвердить имитационным моделированием работоспособность рассчитанной насадки.

Полученные результаты имеют практическую значимость для проектирования энергоэффективных движительных систем подводных аппаратов различного назначения, позволяя существенно улучшить их эксплуатационные характеристики при сохранении надежности конструкции.

Список использованной литературы

1. Карпенко А.В. Гидродинамика подводных движителей. – СПб. : Судостроение, 2020. – 256 с.
2. Гуреев В.М., Петров А.А. Численное моделирование течений в насадках гребных винтов // Судостроение. – 2021. – № 3. – С. 45-52.
3. Белов С.В. Экспериментальное исследование кавитации гребных винтов с насадками // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2019. – № 4. – С. 78-92.
4. Пантов Е. Н., Махин Н. Н., Шереметов Б. Б. Основы теории движения подводных аппаратов. – Ленинград : Изд. Судостроение, 1973. – 216 с.
5. Федоров К.С. Методы оптимизации формы сопловых аппаратов. – М. : Наука, 2018. – 180 с.
6. Войткунский Я. И., Першиц Р. Я., Титов И. А. Справочник по теории корабля. Л. : Судпромгиз, 1960.