

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

Б. М. Лычко, канд. техн. наук, доц.

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Рассмотрено применение стандартных диаграмм для расчета гребных винтов при моделировании гидрометеорологических условий эксплуатации.

**Ключевые слова:** энергетическая установка, условия эксплуатации, гребной винт.

**Анотація.** Розглянуто застосування стандартних діаграм для розрахунку гребних гвинтів при моделюванні гідрометеорологічних умов експлуатації.

**Ключові слова:** енергетична установка, умови експлуатації, гідрометеорологічні умови, гребний гвинт.

**Abstract.** The appliance of standard diagrams for the calculation of screw-propellers under the simulation of hydrometeorological situation has been considered.

**Keywords:** power plant, exploitation conditions, hydrometeorological situation, screw propellers.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Задачи моделирования предстоящих условий эксплуатации транспортного судна возникают на стадиях принятия проектных решений. Учитывается множество показателей, как заданных заказчиком, так и принимаемых проектантами самостоятельно. Как правило, учет предстоящих условий эксплуатации осуществляется с помощью математического и/или компьютерного моделирования, при котором используются различные методики по вычислению винтовых характеристик и других показателей пропульсивного комплекса судна [3].

Ключевым моментом различных методик расчетов винтовых характеристик является работа с диаграммой для расчета гребных винтов, которая может быть использована как в графическом виде [6], так и в электронном варианте.

Как правило, методы работы с этими диаграммами сводятся к определению характеристик гребных винтов при условиях *приемосдаточных испытаний* (ПСИ) или близких к ним [3, 6], а значительную часть эксплуатационного времени судно находится в условиях, значительно отличающихся от упомянутых.

В этой связи *актуальной* задачей является определение пропульсивных характеристик транспортного судна с учетом влияния гидрометеорологических условий эксплуатации при работе с диаграммами для расчета гребных винтов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Основные стандартные методики по использованию диаграмм для расчета гребных винтов изложены в [3, 6]. Фирмы – разработчики малооборотных двигателей [7] рекомендуют учитывать внешние (штор-

мовые) условия эксплуатации путем «утяжеления» винтовой характеристики, соответствующей условиям приемосдаточных испытаний.

Однако не полностью освещенным остается вопрос о моделировании гидрометеорологических условий эксплуатации при работе с диаграммами для расчета гребных винтов.

**ЦЕЛЮЮ СТАТЬИ** является рассмотрение вопросов моделирования гидрометеорологических условий эксплуатации при работе со стандартными диаграммами для расчета гребных винтов.

### ИЗЛОЖЕНИЯ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Гребные винты фиксированного шага широко и повсеместно применяются в составе пропульсивного комплекса транспортных судов с прямой передачей мощности на винт.

Опыт проектирования и строительства большого количества быстроходных и крупнотоннажных судов в бывшем СССР позволил выработать рекомендации по применению тех или иных серий (конструкций) гребных винтов. По экспертным оценкам ведущей проектной организации Украины ОАО «Черноморсудпроект» применительно к быстроходным и крупнотоннажным судам, которые строились 20...30 лет назад, гребные винты М-серии обладают более высоким КПД, но большим уровнем шума и более подвержены кавитации, чем гребные винты Z-серии. Большинство статистических данных для этих выводов взяты из сферы строительства и эксплуатации судов. В настоящее время такой возможности нет. Строительство транспортных судов выполняется судостроительными заводами в основном для иностранных заказчиков и все рациональные проектные решения (если нет указаний со стороны заказчика) необходимо

принимать на стадии проектирования, так как отсутствует тенденция серийного строительства судов, которая позволяла внедрять определенные усовершенствования, выполнять модернизацию для каждого последующего судна серии. Тем не менее строительство транспортных судов продолжается, совершенствуются обводы корпуса судна и его энергетическая установка.

В справочнике по теории корабля под редакцией Я.И. Войткунского [6], как и в других литературных источниках, приводятся диаграммы для расчета гребных винтов, устанавливающие взаимосвязь между шаговым отношением ( $P/D$ ), коэффициентом полезного действия (КПД), относительной поступью гребного винта ( $J$ ) и коэффициентом упора гребного винта ( $K_T$ ) в зависимости от коэффициентов нагрузки гребного винта по упору ( $K_{DT}$ ) и по тяге ( $K_{NT}$ ). В то же время неосвоенным остается вопрос о выполнении

построений на этих диаграммах для разных условий эксплуатации при определении перечисленных выше характеристик гребного винта. Вопросы, связанные с оценкой относительного изменения КПД гребных винтов в зависимости от обрастания и коррозии корпуса судна и его винторулевого комплекса и от качки судна, затронуты в исследовании [2].

Геометрические и гидродинамические характеристики гребных винтов рассмотрены в [1, 4–6].

Некоторые сведения о конструкциях гребных винтов представлены в [5], теоретический чертеж гребного винта М4-75 (серия Мишкевича) показан в [1, с. 30], чертеж общего вида и сечений модели гребного винта серии Трооста (серия В) приведен в [4, с. 77]. В табл. 1 представлены характеристики наиболее распространенных гребных винтов серии М и серии Z (серия Заводовского) [1, 4–6].

Таблица 1. Характеристики некоторых гребных винтов

Число лопастей	Дисковое отношение $A_E/A_0$	Относительная толщина лопасти $\bar{e}_0$	Относительный диаметр ступицы $\bar{d}_H$	Угол отклонения лопасти, град	Шаговое отношение $P/D$
Гребной винт Заводовского (серия Z)					
4	0,85	0,045	0,180	15	0,9...1,4
4	1,00				
Гребной винт Мишкевича (серия М)					
4	0,65	0,060	0,200	5	0,6...1,4
4	0,75	0,065			
4	0,85	0,055			
Гребной винт Трооста (серия В)					
2	0,30	0,055	0,180	15	0,5...1,4
3	0,35; 0,55; 0,65	0,050			
4	0,40; 0,55; 0,70	0,045	0,167		
5	0,60	0,040			
Гребной винт Титова (серия Т)					
4	0,35; 0,58; 0,75	0,040	0,200	0	0,6...1,5
	0,35; 0,58; 0,75	0,060			
6	0,68	0,045	0,180	7	0,5...1,3
7	0,70	0,041			
8	0,72	0,039			

В соответствии с методиками расчета винтовых характеристик мощность главного двигателя (ГД), работающего в составе пропульсивного комплекса, определяется по формуле

$$N_e = \rho \cdot K_T \cdot n^2 \cdot D^4 \cdot v_A / (\eta \cdot \eta_{вал}) \text{ кВт};$$

частота вращения ГД

$$n = 60 \cdot v_A / (D \cdot J) \text{ с}^{-1}.$$

Здесь  $\rho$  – плотность морской воды, т/м<sup>3</sup>;  $K_T$  – коэффициент упора гребного винта;  $n$  – частота главного двигателя, с<sup>-1</sup>;  $D$  – диаметр гребного винта, м;  $v_A$  – поступательная скорость гребного винта, м/с;  $\eta$  – КПД гребного винта;  $\eta_{вал}$  – КПД передачи;  $J$  – относительная поступь винта.

На рис. 1 показаны диаграмма для расчета гребных винтов серии М4-65 и пример графического определения параметров оптимального гребного винта для условий приемосдаточных испытаний.

Согласно экспертным оценкам и рекомендациям учет влияния внешних условий эксплуатации при расчете соответствующей винтовой характеристики осуществляется корректировкой диаграммного КПД гребного винта ( $\eta_0$ ) двумя коэффициентами –  $\eta_1$  и  $\eta_2$ . Первый из них учитывает влияние шероховатости в зависимости от времени, прошедшего после докования со шлифовкой винта (рис. 2,а), а второй – качку судна в зависимости от высоты волн трехпроцентной обеспеченности (рис. 2,б).

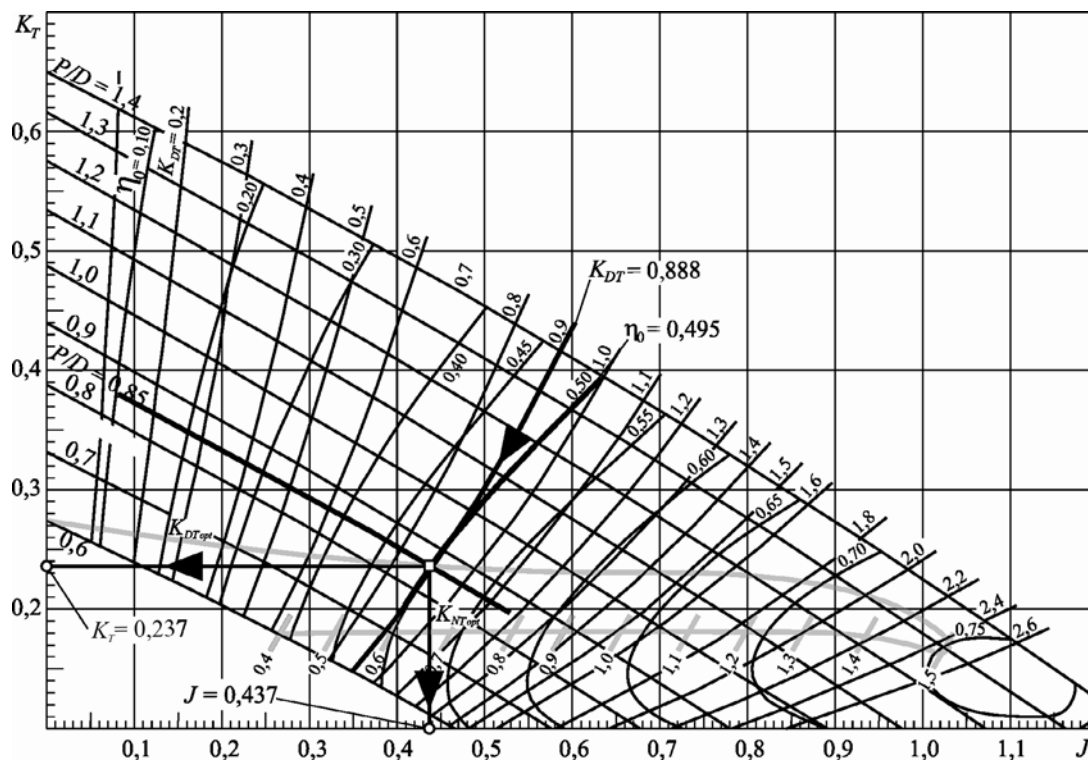


Рис. 1. Диаграмма для расчета гребных винтов серии М4-65 и графическое определение параметров гребного винта

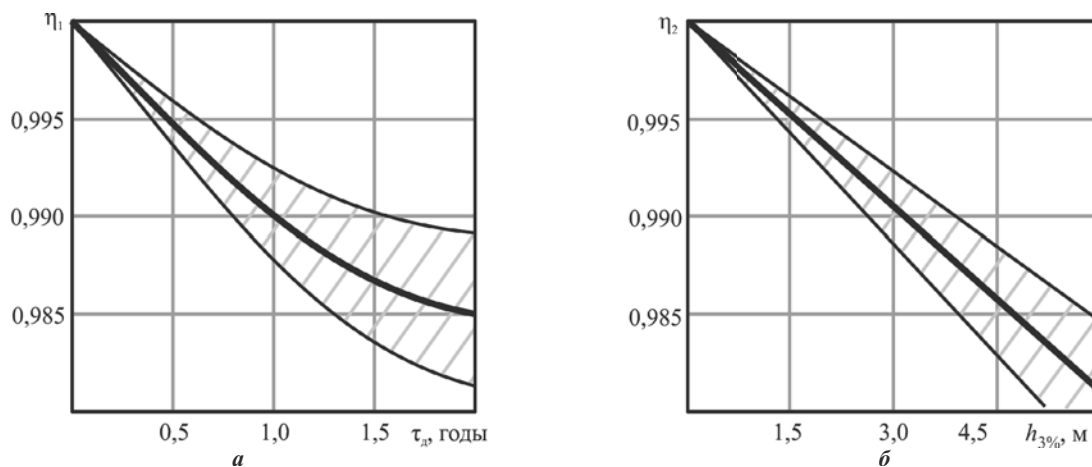


Рис. 2. Относительное изменение КПД винта из-за шероховатости в зависимости от времени, прошедшего после докования (а), и из-за качки судна в зависимости от высоты волн (б)

Таким образом, реальный КПД гребного винта при моделировании условий эксплуатации с учетом значений указанных коэффициентов, фактически уменьшается и определяется по формуле  $\eta_{ГВ} = \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$ .

При использовании в вариантных расчетах усредненных значений  $\eta_1$  (табл. 2) и  $\eta_2$  (табл. 3) существенно упрощается задача сопоставления данных.

Таблица 2. Усредненные значения коэффициента  $\eta_1$

Время после докования $\tau_d$	6,0/0,5	12,0/1,0	18,0/1,5	24,0/2,0
Значения $\eta_1$	0,995	0,990	0,9868	0,985

Пояснение. В числителе указаны месяцы, в знаменателе – годы.

Таблица 3. Усредненные значения коэффициента  $\eta_2$

Высота волны 3%-й обеспеченности $h_{3\%}$	0	1	2	3	4	5	6
Значения $\eta_2$	1,000	0,9964	0,9943	0,9905	0,9869	0,9843	0,9807

Таким образом, следует рассмотреть два варианта работы со стандартной диаграммой для расчета гребных винтов:

- 1) при определении характеристик для винта, подобранного для условий ПСИ (см. рис. 1), но работающего в эксплуатационных условиях (рис. 3,а);
- 2) при подборе оптимального гребного винта для условий, отличающихся от условий ПСИ (см. рис. 3,б).

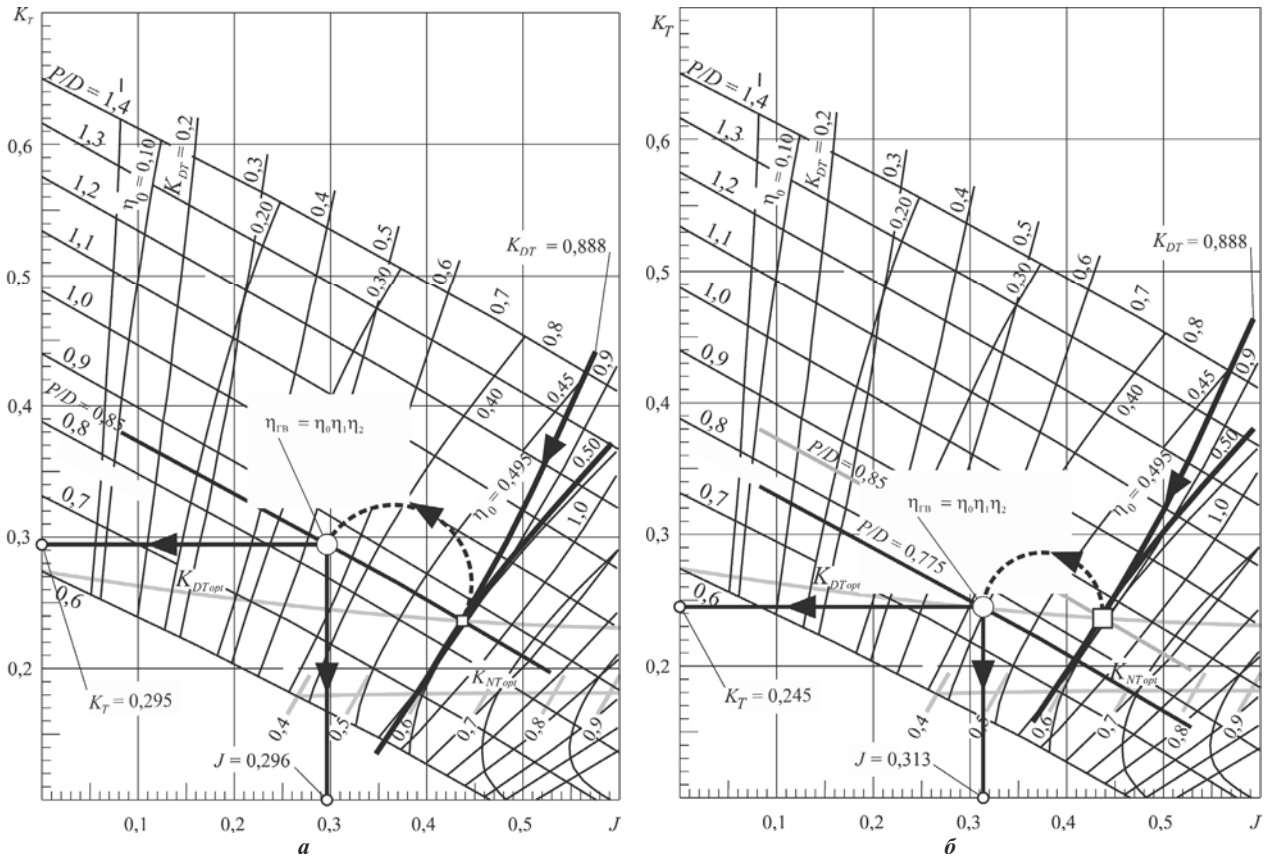


Рис. 3. Фрагмент стандартной диаграммы для расчета гребных винтов серии М4-65, иллюстрация графического определения параметров гребного винта (а) и подбора оптимального гребного винта (б) при работе в эксплуатационных условиях

**ВЫВОДЫ**

1. Как установлено, при моделировании гидрометеорологической обстановки на стадии проектирования КПД гребного винта уменьшается на 4...5 %, частота вращения – на 6...7 %, а необходимая мощность главного двигателя увеличивается на 4...6 %.

2. Приведенные способы работы со стандартной диаграммой для расчета гребных винтов при определении характеристик винта в условиях эксплуатации позволили более точно определить показатели пропульсивных комплексов транспортных судов.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] **Артюшков, Л. С.** Судовые движители [Текст] : учебник / Л. С. Артюшков, А. Ш. Ачкинадзе, А. А. Русецкий. – Л. : Судостроение, 1988. – 296 с.
- [2] Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт [Текст] : навч. посіб. / В. П. Шостак, В. І. Гершанік, В. П. Кот, М. С. Бондаренко. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 500 с.
- [3] **Кот, В. П.** Повышение эффективности дизельных установок транспортных рефрижераторов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кот В. П. – Николаев : УГМТУ, 2001. – 22 с.
- [4] **Русецкий, А. А.** Судовые движители [Текст] : учебник / А. А. Русецкий, М. М. Жученко, О. В. Дубровин. – Л. : Судостроение, 1971. – 288 с.
- [5] **Слижевский, Н. Б.** Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов [Текст] : учеб. пособие / Н. Б. Слижевский, М. Г. Соколик, В. Ф. Тимошенко ; под ред. проф. Н. Б. Слижевского. – Николаев : НУК, 2004. – 192 с.
- [6] Справочник по теории корабля [Текст]. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / под ред. Я. И. Войткунского. – Л. : Судостроение, 1985. – 768 с.
- [7] Marine Engine Programme [Электронный ресурс]. – Germany : MAN Diesel & Turbo, 2013. – Режим доступа: <https://www.mandieselturbo.us.com>.

© Б. М. Личко

Надійшла до редколегії 10.06.13  
Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. М. І. Радченко