

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра энергоустановок морских судов и сооружений

А.Ю. Гаршин

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ТУРБИНЫ

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 629.5.03-135 (076)
ББК 39.455я73
Г21

Р е ц е н з е н т:

Е.В. Хромов – канд. техн. наук, доцент каф. ЭМСС

Гаршин А.Ю.

Г21 Исследование режимов работы одноступенчатой турбины: метод. указания по выполнению лабораторной работы / А.Ю. Гаршин. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 10 с.

Рассматривается лабораторная работа по исследованию режимов работы одноступенчатой турбины, выполняемая при изучении курса «Судовые турбомашины».

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок.

Выполнение лабораторной работы направлено на изучение следующих профессионально-специализированных компетенций (Конвенция ПДНВ):

ПСК-37: Способность сформировать цели проекта (программы), разработать обобщенные варианты ее решения, выполнить анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений.

ПСК-38: Способность разработать проекты объектов профессиональной деятельности с учетом физико-технических, механико-технологических, эстетических, экологических, эргономических и экономических требований, в том числе с использованием информационных технологий.

УДК 629.5.03-135 (076)
ББК 39.455я73

Рассмотрены и рекомендованы кафедрой энергоустановок морских судов и сооружений Морского института Севастопольского госуниверситета в качестве методических указаний к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Судовые турбомашины» для студентов специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок, протокол 1 от 31 августа 2018 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа.	
Исследование режимов работы одноступенчатой турбины	5
1.1. Теоретическое обоснование	5
1.2. Описание установки	7
1.3. Проведение измерений	8
1.4. Протокол испытаний	8
1.5. Содержание отчета	8
1.6. Контрольные вопросы	8
1.7. Научно-исследовательская работа студентов	9
Литература	10

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторных работ является закрепление теоретического материала по дисциплине «Судовые турбомашинны» и получение практических навыков по замерам экспериментальных параметров лабораторных установок, их обработке и построению энергетических характеристик, а также приобретение навыков по эксплуатации судовых турбоустановок.

К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности в лабораториях кафедры ЭМСС.

За время проведения лабораторных работ студенты знакомятся с лабораторными установками, получают допуск к проведению экспериментов, проведению замеров и эксплуатации установок. Проводят замеры параметров по приборам, записывают их в отчет, производят обработку опытных данных, оформляют результаты исследований и записывают полученные результаты.

Для получения допуска к выполнению работ необходимо:

- иметь оформленный отчет о работе;
- знать теоретические основы по теме работы;
- знать схему лабораторной установки, порядок проведения опыта или эксплуатации установки.

Отчет должен содержать:

- наименование работы, цель, схему и краткое описание установки;
- основные формулы и формулировки;
- таблицы опытных данных;
- таблицы с результатами расчетов;
- необходимые графики и выводы.

Во время защиты лабораторных работ преподаватель проверяет правильность полученных студентом результатов и его теоретические знания.

Методические указания содержат контрольные вопросы, способствующие закреплению теоретического материала при самостоятельной работе студентов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ТУРБИНЫ

Цель лабораторной работы: закрепление студентами теоретических знаний и получение практических навыков по контролю параметров функционирования турбины на режимах работы, снятию экспериментальных данных, их обработке и построению графика зависимости эффективного КПД (η_e) от характеристики ступени (v).

1.1. Теоретическое обоснование

Эффективный КПД турбины учитывает потери механические и внутренние. К последним в нашем случае относятся потери на окружности (в соплах, на рабочих лопатках и с выходной скоростью), а также потери на трение диска о воздух и на протечки. Потери на окружности, а в конечном итоге и эффективный КПД зависят от характеристики

$$v = u / c_{1t}, \quad (1.1)$$

где u – окружная скорость на среднем диаметре облопачивания;
 c_{1t} – теоретическая скорость выхода воздуха из соплового аппарата.

Эффективный КПД определяется как отношение полезной мощности турбины к энергии воздушного потока

$$\eta_e = N_T / (G H_0), \quad (1.2)$$

где N_T – мощность турбины, Вт;
 G – секундный массовый расход, кг/с;
 H_0 – удельная располагаемая энергия ступени, Дж/кг.

Мощность турбины

$$N_T = M \omega = 2\pi n P l, \quad (1.3)$$

где n – частота вращения ротора турбины, s^{-1} ;
 P – усилие на рычаге взвешивающего устройства гидротормоза, Н;
 $l = 0,615$ м – плечо взвешивающего устройства.

С учетом последнего $N_T = 3,86 n P$, Вт.

Секундный массовый расход воздуха находится с помощью диафрагмы, расположенной на воздушной магистрали от нагнетателя к турбине и вычисляется по выражению

$$G = 0,01215 \sqrt{\rho_{\partial} \Delta P_{\partial}}, \quad (1.4)$$

где $\rho_{\partial} = \frac{P_{\partial}}{RT_{\partial}}$ – плотность воздуха перед диафрагмой, кг/м³;

$P_{\partial} = P_{\partial.изб} + P_a$ – абсолютное давление (статическое) воздуха перед диафрагмой, Па;

$P_{\partial.изб}$ – избыточное давление (статическое) воздуха перед диафрагмой, Па;

P_a – атмосферное давление, Па;

T_{∂} – температура воздуха перед диафрагмой, К;

$R = 287,2$ Дж/(кг К) – газовая постоянная воздуха;

ΔP_{∂} – перепад давления на диафрагме, Па.

Удельная располагаемая энергия ступени при скоростях воздуха менее 100 м/с может вычисляться по выражению

$$H_o = \frac{P_{o.изб}^* - P_{2изб}}{\rho}, \quad (1.5)$$

где $P_{o.изб}^*$ – полное избыточное давление воздуха на входе в ступень (в успокоительном баке), Па;

$P_{2изб}$ – статическое избыточное давление за турбиной, Па.

Последнее в нашем случае равно нулю.

$\rho = \frac{P_{cp}}{RT}$ – средняя плотность воздуха в ступени, кг/м³;

$P_{cp} = P_a + 0,5P_{o.изб}$ – среднее для ступени давление, Па;

$P_{o.изб}$ – статическое избыточное давление на входе в ступень (ввиду малой величины скоростного напора в успокоительном баке принимается равным $P_{o.изб}^*$);

T – средняя для ступени температура, К; принимается приближенно равной T_o ;

T_o – температура воздуха на входе в ступень (в успокоительном баке), К.

Скорость (теоретическая) на выходе из соплового аппарата определяется по формуле

$$c_{1t} = \sqrt{2H_0}, \quad (1.6)$$

окружная скорость рабочих лопаток на среднем радиусе

$$u = \pi d_{cp} n = 0,882n. \quad (1.7)$$

1.2. Описание установки

Установка (рис. 1.1) состоит из одноступенчатой турбины, гидротормоза, нагнетательного трубопровода и соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры. Турбина приводится во вращение сжатым воздухом, получаемым от дизель-компрессора и работает на выхлоп в атмосферу.

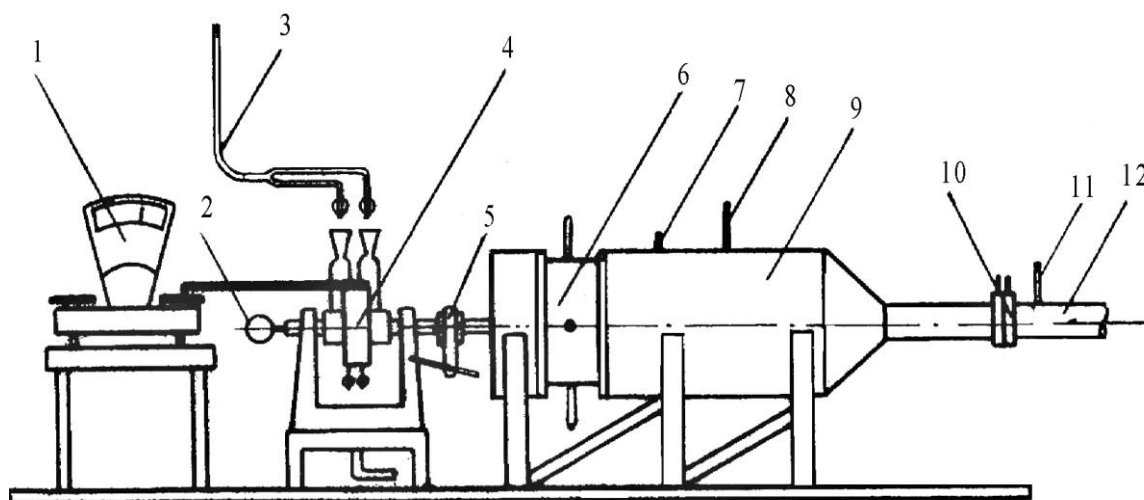


Рис. 1.1 - Схема опытной установки:

- 1 – весы; 2 – датчик оборотов; 3 – трубопровод водяной; 4 – гидротормоз;
 5 – тормоз ручной; 6 – воздушная турбина; 7 – трубка полного давления;
 8 – термометр; 9 – бак успокоительный; 10 – диафрагма; 11 – термометр;
 12 – воздухопровод

Основными узлами турбины являются успокоительный бак, поворотный корпус, направляющее и рабочее колесо, выхлопной патрубок.

Проточная часть турбины состоит из направляющего аппарата и рабочего колеса. Осевое расстояние между кромками лопаток может изменяться от 0,5 до 40 мм.

Зазор между бандажом и направляющим аппаратом при одном и том

же положении рабочего колеса может варьироваться с помощью вставных колец, прикрепляемых к сопловому ободу. Корпус турбины имеет горизонтальный разъем.

Ротор турбины расположен консольно и опирается на шариковый опорно-упорный и роликовый опорный подшипник.

Средний диаметр рабочего колеса $d_{cp} = 281$ мм.

Высота лопаток $l_p = 29$ мм, лопатки постоянного сечения по высоте.

Мощность, развиваемая рабочим колесом, поглощается гидротормозом, соединенным с валом турбины муфтой.

Для аварийной остановки машины предусмотрен ручной ленточный тормоз.

С другого конца вала гидротормоза приводится во вращение электрический датчик оборотов.

К гидротормозу подводится из бака вода, уровень которой поддерживается в баке постоянным.

1.3. Проведение измерений

Полное давление и температура перед направляющим аппаратом замеряется с помощью жидкостного манометра и ртутного термометра. Давление воздуха в трубопроводе и его расход меняются с помощью заслонки.

Число оборотов турбины изменяется путем различного наполнения гидротормоза и измеряется дистанционным тахометром, усилие на рычаге гидротормоза определяется с помощью весов.

Расход воздуха определяется по параметрам воздуха перед диафрагмой и перепаду давления на ней

1.4. Протокол испытаний

Результаты измерений и расчетов заносятся в протокол (табл. 1.1).

1.5. Содержание отчета

Отчет должен содержать основные расчетные формулы, описание и схему установки, протокол с результатами испытаний и график зависимости КПД (η_e) ступени от ее характеристики (v).

1.6. Контрольные вопросы

1. Что называется эффективным КПД, его слагаемые?
2. Что называется характеристикой ступени?

3. Перечислите основные элементы опытной установки.
4. Как определяется расход рабочего тела, его располагаемая удельная энергия и мощность опытной турбины?

Таблица 1.1 – Протокол испытаний

Наименование	Обоз.	Ед. изм.	Режимы работы				
			1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8
Атмосферное давление	P_a	Па					
Температура перед диафрагмой	T_∂	К					
Давление избыточное перед диафрагмой	$P_{\partial,изб}$	Па					
Перепад давлений на диафрагме	ΔP_∂	Па					
Температура перед ступенью	T_o	К					
Полное избыточное давление перед ступенью	$P_{o,изб}$	Па					
Частота вращения ротора	n	c^{-1}					
Усилие на рычаге гидротормоза	P	Н					
Мощность турбины	N_t	Вт					
Давление воздуха перед диафрагмой (абсолютное)	P_∂	Па					
Плотность воздуха перед диафрагмой	ρ_∂	кг/м ³					
Секундный расход воздуха	G	кг/с					
Ср. давление в ступени	P_{cp}	Па					
Плотность воздуха в ступени	ρ_{cp}	кг/м ³					
Уд. располагаемая энергия ступени	H_o	Дж/кг					
КПД турбины	η_e	-					
Теоретическая скорость потока	c_{1t}	м/с					
Окружная скорость лопаток	U	м/с					
Характеристика ступени	v	-					

1.7. Научно-исследовательская работа студентов

1. Приведите описание нескольких экспериментальных турбинных установок.
2. Проведите определение КПД опытной турбины при различных значениях межвенцового зазора, сохраняя неизменным осевой зазор по бандажу и сделайте выводы.
3. Определите КПД опытной турбины при различных значениях осевого зазора по бандажу, сохраняя неизменным межвенцовый зазор; сделайте выводы.
4. Оцените точность и достоверность результатов опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Л.: РМРС, 2008. – 834 с.
2. *Слободянюк Л.И.* Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация / Л.И. Слободянюк, В.И. Поляков. – Л.: Судостроение, 1983. – 354 с.
3. *Артемов Г.А.* Судовые газотурбинные установки / Г.А. Артемов, В.П. Бойко, А.Г. Гильмутдинов. - Л.: Судостроение, 1978. – 246 с.
4. *Зайцев В.И.* Судовые паровые и газовые турбины / В.И. Зайцев и др. - М.: Транспорт, 1981. – 311 с.
5. *Беляев И.Г.* Эксплуатация судовых утилизационных установок / И.Г. Беляев. – М.: Транспорт, 1987. – 172 с.
6. *Горбов В.М.* Основы технической эксплуатации судовых газотурбинных установок / В.М. Горбов. – Н.: УГМТУ, 1996. – 233 с.
7. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. Часть VI Судовые паровые турбоагрегаты: РД 31.21.30-97, 1997. – 369 с.
8. Газотурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Стандарт Организации ОАО РАО «ЕЭС России». – М., 2008. – 23 с.

Гаршин Александр Юрьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ТУРБИНЫ**

*Методические указания
по выполнению лабораторной работы*

В авторской редакции

Изд. № 268/19. Объем 0,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»