

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, С.Н. Ткач

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

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 работы центробежного компрессора: метод. указания по выполнению лабораторной работы / А.Ю. Гаршин, С.Н. Ткач. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 11 с.

Рассматривается лабораторная работа по исследованию работы центробежного компрессора, 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-2: Способен исполнять процедуры безопасности и порядок действий при авариях; переход с дистанционного/автоматического на местное управление всеми системами.

ПСК-6: Способен осуществлять подготовку, эксплуатацию, обнаружение неисправностей и меры, необходимые для предотвращения причинения повреждений следующим механизмам и системам управления: 2. Паровой котел и связанные с ним вспомогательные механизмы и паровые системы; 3. Вспомогательные первичные двигатели и связанные с ними системы; 4. Другие вспомогательные механизмы, включая системы охлаждения, кондиционирования воздуха и вентиляции.

ПСК-7: Способен осуществлять эксплуатацию систем: топливных, смазочных, балластных и других насосных систем и связанных с ними систем управления.

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.

© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа.	5
Исследование работы центробежного компрессора	
1. Теоретическое обоснование	5
2. Описание установки	6
3. Проведение измерений	7
4. Протокол испытаний	8
5. Обработка результатов испытаний и содержание отчета	8
6. Контрольные вопросы	10
7. Научно-исследовательская работа студентов	10
Литература	11

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 РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Цель лабораторной работы: закрепление студентами теоретических знаний, определение основных параметров рабочего процесса, построение характеристики компрессора на различных режимах работы.

1. Теоретическое обоснование

А) Производительность компрессора определяется с помощью измерительного коллектора, расположенного на входе в компрессор (рис.1) и вычисляется по формуле

$$G = \alpha \varepsilon \frac{\pi d_k^2}{4} \sqrt{2 h_k \rho_a} \frac{n_0}{n}, \quad (1)$$

где $\alpha = 0,985$ - коэффициент измерительного коллектора;

$\varepsilon \approx 1 - 0,55 h_k / P_a$ - коэффициент, учитывающий изменение плотности воздуха в измерительном коллекторе;

d_k - диаметр измерительного коллектора, м;

h_k - разрежение в измерительном коллекторе, Па ;

n_0 - частота вращения компрессора, принятая при испытаниях за постоянную (для каждого режима), c^{-1} ;

n - частота вращения, измеренная, c^{-1} ;

P_a - измеренное атмосферное давление, МПа;

T_a - температура окружающего воздуха, К.

Учитывая, что диаметр коллектора $d_k = 0,174$ м, получим

$$G = 0,0331 \varepsilon \sqrt{h_k \rho_a} \frac{n_0}{n}. \quad (2)$$

Б) Степень повышения давления π_k^* представляет собой отношение полного давления (абсолютного) P_2^* за компрессором к давлению перед компрессором (атмосферному) P_a . Для исключения влияния колебаний частоты вращения в процессе опыта, вводится поправка $(n_0/n)^2$.

$$\pi_k^* = \frac{P_2^*}{P_a} \left(\frac{n_0}{n} \right)^2 = \frac{P_{2.изб}^* + P_a}{P_a} \left(\frac{n_0}{n} \right)^2, \quad (3)$$

где $P_{2.изб}^*$ - показания манометра, измеряющего давление за компрессором, Па.

В) Внутренний КПД компрессора (изоэнтروпийный) без учета утечек может быть определен по температурам и давлениям, измеренным до и после компрессора

$$\eta_k = \frac{\pi_k^{*m} - 1}{\frac{T_2}{T_a} - 1} (1 - q), \quad (4)$$

где T_2 - температура воздуха за компрессором. К;

$m(k-1)/k = 0,286$ - показатель степени;

$q = 0,03$ - коэффициент, учитывающий отдачу тепла наружному воздуху через корпус компрессора.

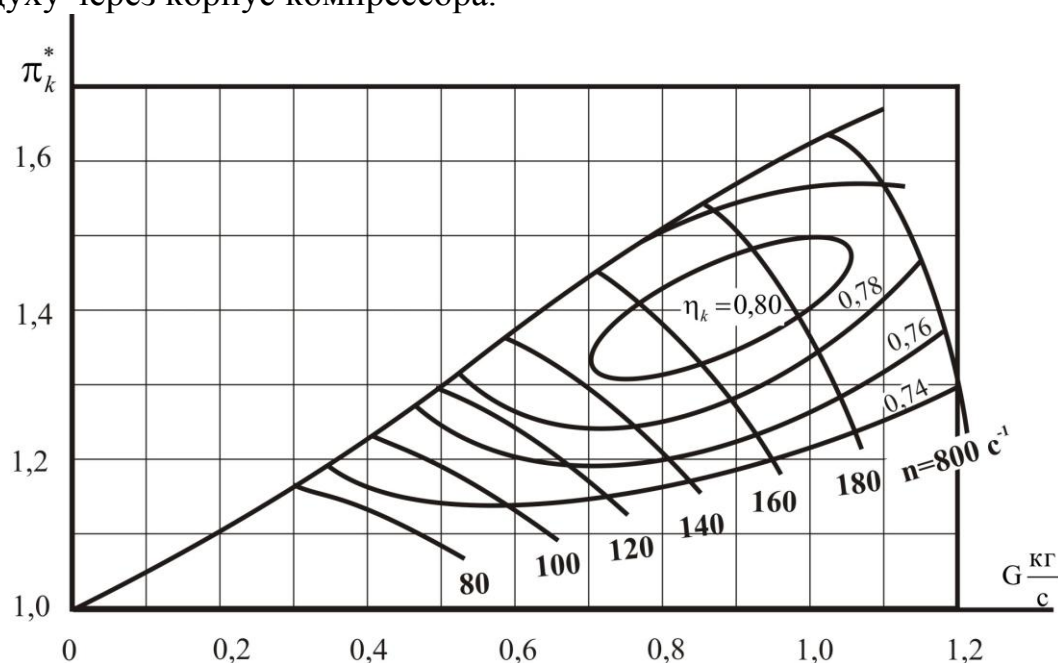


Рисунок 1 - Характеристика компрессора

2. Описание установки

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из центробежного компрессора и двигателя 7Д12 с обслуживающими его системами. Двигатель приводит во вращение компрессор через повышающий редуктор с передаточным отношением 1:10.

Компрессор с односторонним всасом и полузакрытым рабочим колесом на входе снабжен патрубком, который выполнен по лемнискате и служит одновременно измерительным коллектором. На напорной магистрали установлена поворотная заслонка для регулирования производительности компрессора и давления за ним.

Разрежение в измерительном коллекторе и давление за компрессором измеряются манометрами. Давление окружающего воздуха - барометром.

Температура окружающего воздуха измеряется ртутным термометром, установленным в лаборатории; температура за компрессором измеряется ртутным термометром, установленным на напорной магистрали.

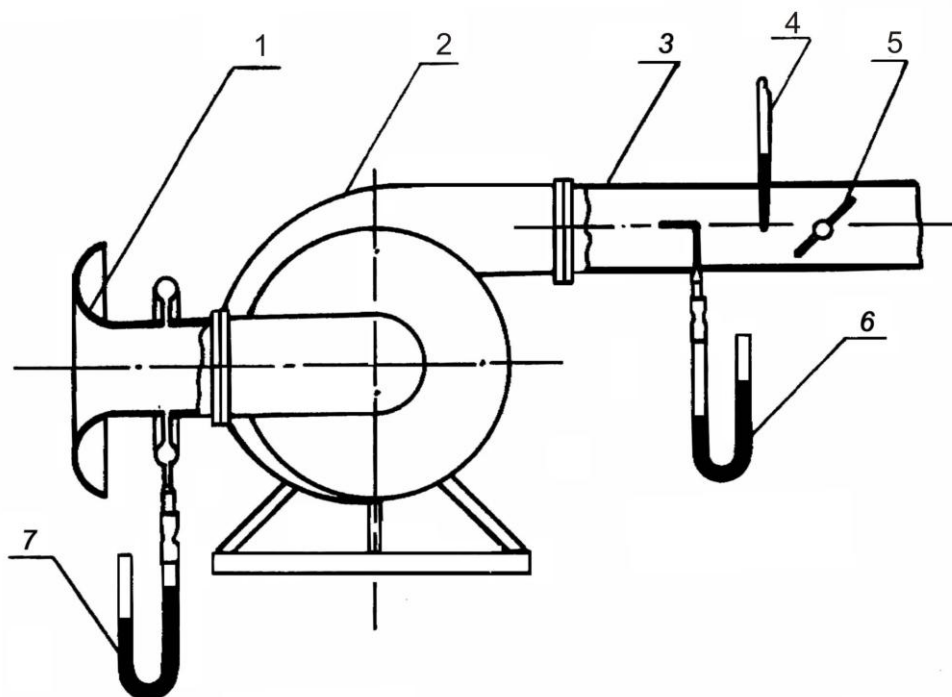


Рис. 2 - Схема установки:

- 1 – входной патрубок (измерительный коллектор); 2 – центробежный компрессор;
3 – напорный воздухопровод; 4 – термометр; 5 – поворотная заслонка;
6, 7 – манометр

3. Проведение измерений

Снятие характеристики производится при различных режимах работы компрессора. Изменением подачи топлива в двигатель устанавливается частота вращения n_0 , которая на данном режиме испытаний принимается постоянной. Затем при различных положениях поворотной заслонки (от полного открытия до положения, при котором начинается помпаж) измеряются: разрежение в измерительном коллекторе, давление и температура воздуха за компрессором. Поскольку при различных положениях поворотной заслонки в некоторых пределах меняется частота вращения, ее так же измеряют, а затем путем пересчета результаты опыта приводятся к частоте вращения, принятой для данного режима постоянной.

Затем путем изменения подачи топлива в двигатель, устанавливается новый режим работы компрессора, соответствующий иному значению частоты вращения и опыт повторяется в изложенном порядке.

4. Протокол испытаний

Результаты измерений и расчетов заносятся в протокол (табл. 1).

Таблица 1

Протокол испытаний

Наименование	Обоз- начение	Ед. изм.	Расчетная формула	Численное значение																	
				п ₀₁						п ₀₂						п ₀₃					
				1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Атмосферное давление	P _а	Па	Измер.																		
Температура окружающего воздуха	t _а	⁰ С	- // -																		
	T _а	К	t _а +273																		
Разрежение в измерительном коллекторе	h _к	Па	Измер.																		
Избыточное давление за компрессором	P _{2.изб} [*]	Па	Измер.																		
Температура за компрессором	t ₂	⁰ С	- // -																		
	T ₂	К																			
Частота вращения комп.	n	с ⁻¹	Измер.																		
Абсолютное давление за компрессором	P ₂ [*]	Па	$P_a + P_{2.изб}^*$																		
Степень повышения давления в компрессоре	π _к [*]	-	$\frac{P_2^*}{P_a} (\frac{n_0}{n})^2$																		
Расход воздуха	G	кг/с	см. текст																		
Внутренний КПД компрессора	η _к	-	см. текст																		

5. Обработка результатов испытаний и содержание отчета

После заполнения протокола данными испытаний и выполнения

соответствующих расчетов необходимо построить характеристику компрессора. Для этого вначале строится зависимость степени повышения давления π_k^* от производительности G для каждого из режимов (для каждого значения p_0) подобно приведенной на рисунке 3. Для того, чтобы на указанный график нанести значения, КПД, необходимо построить вспомогательный график $\eta_k = f(\pi_k^*)$ (рис. 4). Задаваясь значениями КПД, одинаковыми для различной частоты вращения (проводя горизонтальные линии через равные промежутки), находим точки пересечения η_k с кривыми p_0 . Имея ввиду, что указанные точки характеризуются определенными значениями π_k^* и p_0 , перенесем их на предыдущий график. В качестве примера показан перенос точек а,б,с из графика (рис. 4) на график (рис. 3) в процессе построения характеристики компрессора.

Отчет должен содержать основные расчетные формулы, описание и схему установки, протокол испытаний и построенную на миллиметровой бумаге на основании полученных, данных характеристику компрессора.

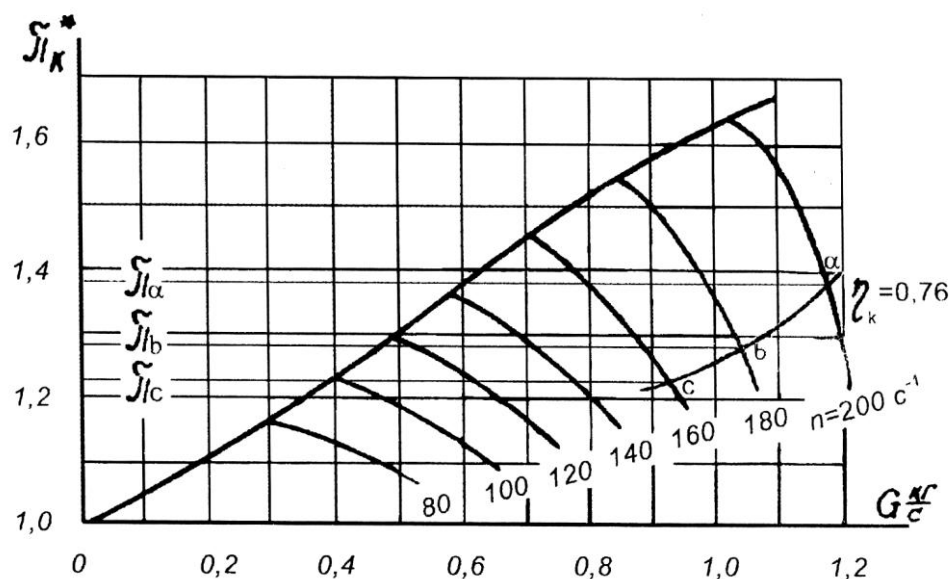


Рисунок 3 - Зависимость π_k^* - G для различных значений n

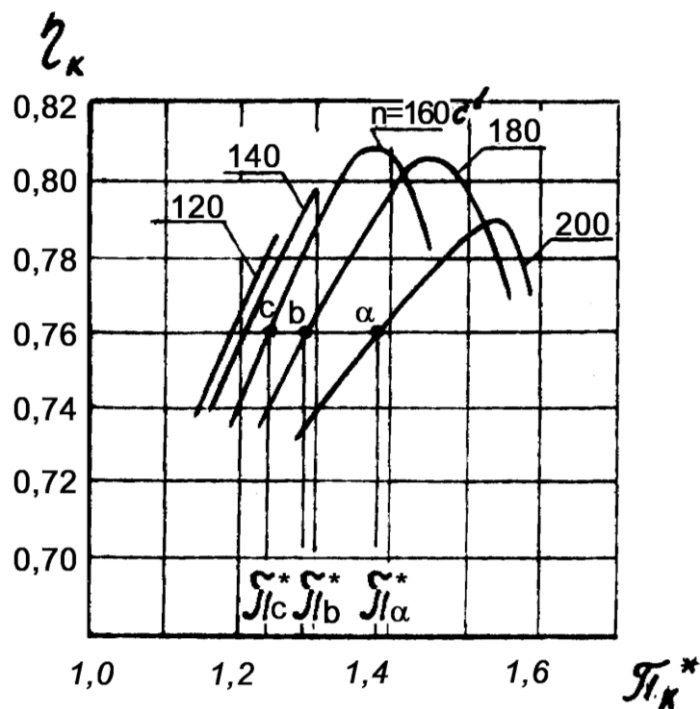


Рисунок 4 - Зависимость $\eta_k - \pi_k$ для различных значений n

6. Контрольные вопросы

1. Что называется характеристикой компрессора?
2. Каким образом определяется производительность, степень повышения давления и КПД компрессора?
3. Опишите экспериментальную установку.
4. В какой последовательности производится построение характеристики компрессора?

7. Научно-исследовательская работа студентов

1. Дайте обоснование методике приведения результатов эксперимента к нормальным атмосферным условиям и постоянной частоте вращения.
2. На основании полученных в процессе опыта данных постройте универсальную (т.е. справедливую для любых давлений и температур на входе) характеристику компрессора.
3. Оцените точность и достоверность результатов опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский 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
Ткач Сергей Николаевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА**

*Методические указания
по выполнению лабораторной работы*

В авторской редакции

Изд. № 271/19. Объем 0,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»