



КАЛИНИНГРАДСКИЙ  
МОРСКОЙ РЫБОПРОМЫШЛЕННЫЙ  
КОЛЛЕДЖ

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
**Калининградский морской рыбопромышленный колледж**

Утверждаю  
Заместитель начальника колледжа  
по учебно-методической работе  
А.И. Колесниченко

## **ПМ.01 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГЛАВНОЙ СУДОВОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

МДК.01.01 Основы эксплуатации, техническое обслуживание и ремонт судового энергетического оборудования

Методическое пособие для выполнения курсовой работы  
по специальности

**26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок**

**МО-26 02 05-МДК.01.01.КР**

РАЗРАБОТЧИК

Отделение морской конвенционной подготовки

ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ

Никишин М.Ю.

ГОД РАЗРАБОТКИ

2025

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.2/80

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ .....	4
РАЗДЕЛ 2. ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....	15
РАЗДЕЛ 3.ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СУДОВЫМ ДИЗЕЛЯМ .....	18
РАЗДЕЛ 4. ТОПЛИВО ДЛЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ.....	20
РАЗДЕЛ 5. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ЦИКЛА.....	23
РАЗДЕЛ 6. ПОРЯДОК РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ЦИКЛА СУДОВОГО 4-Х ТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ГАЗОТУРБИНЫМ НАДДУВОМ .....	32
РАЗДЕЛ 7. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ .....	39
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	55
ТЕМЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ.....	73
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЛИТЕРАТУРЫ .....	80

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.3/80

## Введение

Целью выполнения курсовой работы является закрепление теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений по отдельным темам курса изучения дисциплины. Актуальность курсового проектирования по четырехтактному двигателю с наддувом, связано с тем, что судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания получили наибольшее распространение на рыболовном флоте.

Данное методическое пособие подготовлено с целью оказания организационной и методической помощи обучающимся при выполнении курсовой работы.

Результатом освоения предмета является овладение обучающимися профессиональными (ПК) компетенциями:

ПК 1.1. Обеспечивать техническую эксплуатацию главных энергетических установок судна, вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления.

ПК 1.2. Осуществлять контроль выполнения национальных и международных требований по эксплуатации судна.

ПК 1.3. Выполнять техническое обслуживание и ремонт судового оборудования.

ПК 1.4. Осуществлять выбор оборудования, элементов и систем оборудования для замены в процессе эксплуатации судов.

ПК 1.5. Осуществлять эксплуатацию судовых технических средств в соответствии с установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций и отсутствие загрязнения окружающей среды.

ПК 1.6 Осуществлять техническую эксплуатацию и ремонт судового электрооборудования и средств автоматики.

В пособии изложены вопросы организации выполнения курсовой работы, требования к содержанию, общему и оформлению работы, приведены методические рекомендации для отработки отдельных разделов курсовой работы.

Оформление составляющих частей курсовой работы, осуществляется в соответствии с инструкцией по оформлению учебной и учебно-методической документации в колледже и требованиями стандартов ЕСКД.

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.4/80

## **РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Курсовая работа - вид учебной деятельности обучающихся по профессиональному модулю профессионального учебного цикла, реализуется в пределах времени, отведенного на его изучение и предназначена для подтверждения результатов освоенных составляющих общих и профессиональных компетенций по виду деятельности представляемого профессионального модуля в рамках комплекта оценочных средств с учетом требований действующих нормативных документов.

### **1.1. Цели и задачи курсовой работы**

*Цель* курсовой работы формирование профессиональных компетенций, совершенствование у обучающихся умения и навыков в применении полученных знаний к решению технико-экономических вопросов, связанных с эксплуатацией судовых дизельных установок. Выполнение курсовой работы способствует повышению уровня теоретической и практической подготовки специалистов флота рыбной промышленности.

Задачи курсовой работы:

углубить и закрепить знания по данной дисциплине;

привить навыки пользования технической справочной и другой литературой, умение пользоваться техническими средствами по обработке информации;

дать достаточные для механика-эксплуатационника навыки по конструированию и выполнению технических расчетов по критической оценке технико-экономических показателей, как проектируемых, так и действующих дизельных установок.

Работая над курсовой работой, обучающийся должен подходить к решению вопросов творчески и с инициативой.

### **1.2 Задание и тематика курсовых работ**

Тематика курсовых работ определяет конкретные производственные задачи подготовки специалистов.

Темы курсовых работ выбраны исходя из содержания ПМ.01 «Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт судового энергетического оборудования», в соответствии с ФГОС СПО ПССЗ, и ориентированы на результат –освоение компетенций.

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.5/80

Задание на курсовое проектирование выдаётся каждому курсанту индивидуально. С целью приближения курсового проектирования к практике предлагается примерно следующая тематика курсовых проектов по судовым двигателям внутреннего сгорания:

Расчет рабочего цикла четырехтактного тихоходного двигателя без наддува;

Расчет рабочего цикла четырехтактного тихоходного двигателя с наддувом;

Расчет рабочего цикла быстроходного четырехтактного двигателя без наддува и с газотурбинным наддувом;

Расчет рабочего цикла двухтактного малооборотного двигателя без наддува с контурной поперечной продувкой;

Расчет рабочего цикла двухтактного малооборотного двигателя с контурной или прямоточной-клапанной продувкой с газотурбинным наддувом.

### 1.3 Специальное задание

В специальное задание может быть включено:

– Построение диаграммы «время-сечение»;

– Исследование касательных усилий на шейках коленчатого вала;

– Исследование давлений нормальной составляющей движущей силы на стенки цилиндра четырехтактных и двухтактных тронковых двигателей или на параллель двухтактных крейцкопфных двигателей.

– подбор газотурбонагнетателя для проектируемого ДВС.

### 1.4 Требования к заданию и исходные данные для курсового проектирования

Задание должно отражать содержание проекта, последовательность и сроки его выполнения. Очевидно, чаще других будет выдаваться тема: «Эскизный проект судового двигателя работающего на \_\_\_\_\_ (указывается его тип и способ передачи мощности на гребной винт или на генератор постоянного или переменного тока).

В этом случае даются следующие исходные данные:

– эффективная номинальная мощность двигателя прототипа  $N_e$  (кВт);

– число оборотов коленчатого вала  $n$  ( $\text{с}^{-1}$ );

– марка двигателя согласно ГОСТ 4393-74;

– марка топлива и его состав.

Исходные данные должны соответствовать конкретным двигателям, применяющимся на судах флота рыбной промышленности.

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.6/80

Рассмотренные цикловой комиссией темы заданий на курсовое проектирование курсантов учебной группы сводятся на специальном бланке для утверждения Заместителем Начальника колледжа по учебной работе. (см. Приложение 1. Перечень тем заданий на курсовое проектирование)

### 1.5 Составные части курсового проекта их объем и содержание.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки, выполненной на 30-32 листах печатного текста.

Содержание пояснительной записки:

**Введение** (1 ... 2 с.), в котором раскрывается актуальность выбранной темы, излагается цель и задачи работы, ожидаемые результаты.

*Введение*, в котором излагается:

*Цель курсовой работы*, (цель должна быть реально выполнимой, связана с проблемой исследования и ее темой, легко проверяемой, измеримой и представлять в обобщенном виде конечный результат исследования, формулирование цели начинается со слов: *выявить влияние, определить условия, разработать технологию, спроектировать процесс* и т.д.) назначение и область применения двигателя (1 стр.).

**Тактико-технические характеристики двигателя прототипа** (1 стр.). Здесь необходимо указать ТТХ двигателя - прототипа: мощность, диаметр цилиндра, ход поршня, степень сжатия, максимальное давление сгорания, среднее эффективное давление, массу и габаритные размеры двигателя.

1 Название раздела (теоретическая часть (4 ... 5 с.))

1.1 .....  
1.2 .....  
1.3 .....  
.....

*В разделе теоретической части размещаются теоретические основы изучаемой проблемы, анализ технических, нормативно-правовых и других источников, позволяющих целостно изучить проблему исследования*

2 Название раздела (практическая часть (23 ... 25 с.))

2.1 .....  
2.2 .....  
2.3 .....  
.....

*В разделе практической части излагается решение выделенной проблемы. Может включать систему разработанных практических ситуаций, проектирование технологий и др.*

- **Описание двигателя прототипа**, в котором дается описание всех конструктивных узлов из которых состоит двигатель (Остов двигателя, кривошипно-

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.7/80

шатунный механизм, механизм газораспределения и системы: топливная, охлаждения, смазки, управления, регулирования, наддува и выпуска) (3-4 стр.).

- **Выбор исходных данных** для расчета рабочего цикла, в котором указывается наименование величины или параметра, обозначение, численное значение, обоснование выбора или источник принимаемых значений для дальнейших расчетов.

- **Тепловой расчет рабочего цикла проектируемого двигателя** (10 - 11 стр.), который включает в себя расчет параметров процессов, из которых состоит рабочий цикл, расчет и построение индикаторной диаграммы, расчет индикаторных и эффективных показателей, определение основных геометрических размеров цилиндра двигателя.

**Динамический расчет двигателя.** (5 6 стр.), который включает в себя:

- Расчет и построение диаграммы сил инерции возвратно поступательно движущихся масс.

- Построение развернутой диаграммы движущих сил

- Расчет и построение диаграммы касательной силы для одного цилиндра

Расчет и построение диаграммы суммарных касательных сил

- Проверка мощности двигателя по крутящему моменту

- Расчет маховика

- Расчетные диаграммы, выполняются на миллиметровой бумаге ф. А1 и содержат:

- Расчетная индикаторная диаграмма
- Диаграмма сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс
- Развернутая диаграмма движущих сил
- Диаграмма касательной силы для одного цилиндра
- Диаграмма суммарных касательных сил

**Заключение**(1 с.), в котором отражаются выводы и рекомендации относительно возможностей практического применения полученных результатов.

**Перечень используемой литературы** (1 ... 2 с.). Приводится список литературы, используемой при выполнении курсовой работы.

На все литературные источники в соответствии с ГОСТ Р 7.1-2003 указывается: фамилия и инициалы автора, заглавие, выходные данные – место издания, название издательства, год издания или название учреждения.

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.8/80

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОЗДАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Текст документов, входящих в методическое обеспечение, оформляется с использованием текстового редактора Microsoft Word:

- параметры страницы А4, ориентация книжная или альбомная;
- поля страницы: левое –20 мм, правое –10 мм, верхнее–20 мм, нижнее–20 мм
- шрифтом Times New Roman размером 12-14 кегль или Arial размером 12 кегль;
- красная строка печатается с абзацным отступом от левого поля, равным 12,5 мм;
- межстрочный интервал полуторный;
- для выделения части текста документа (заголовка) могут использоваться шрифты полужирного начертания и 1,5 - 2 интервала между строками;
- при создании таблиц используется шрифт меньших размеров, использование шрифтов с подчеркиванием в таблице допускается.

### 1.6 Последовательность работы при выполнении курсового проекта

Согласно учебному плану, курсанты приступают к выполнению курсового проекта перед плавательной практикой, поэтому руководителю курсового проектирования с целью приближения к реальным условиям целесообразно увязать задание на курсовое проектирование с типом энергетической установки, на которой курсант будет проходить практику. Для выполнения курсового проекта в сроки, предусмотренные учебным планом и его поэтапного контроля, курсантам выдается график выполнения разделов проекта, включая выполнение и оформление пояснительной записки и графической части (См. Приложение 4).

Поэтапное выполнение курсового проекта каждым курсантом рекомендуется освещать на экране.

### 1.7 Подготовка к защите и защита курсовой работы

Перед предоставлением курсовой работы, на проверку руководителю, обучающемуся необходимо выполнить следующее:

- проверить нумерацию страниц
- заменить страницы, если на них при устранении опечаток (неточностей) появилось много исправлений

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.9/80

- нет ли орфографических и пунктуационных ошибок
- нет ли разнобоя в условных обозначениях, сокращениях
- правильно ли сделаны ссылки на текст, литературу, расчеты, иллюстрации, таблицы и т.д.

- не перепутаны ли элементы формул, имеющих одинаковое обозначение, но различное смысловое значение

- все ли таблицы, иллюстрации, формулы пронумерованы

При просмотре законченного курсовой работы, руководитель отмечает все замечания на полях пояснительной записки и графических документов, которые должны быть учтены автором проекта.

Законченный курсовой работы, подвергается нормоконтролю. Нормоконтроль проводится в соответствии с руководящим документом РД 16-01-005-86, который разработан по рекомендациям ГОСТ 2.111-68 для конструкторских документов (См. методическое пособие [1]).

Функции нормоконтроля выполняет руководитель курсовой работы. Виды контроля конструкторской документации приведены в методическом пособии. После исправления замечаний, курсант подписывает титульный лист, задание на курсовое проектирование, содержание, спецификацию пояснительной записки и графическую часть.

По признанию годным для защиты, курсовая работа, подписывается руководителем, председателем предметной цикловой комиссии и заведующим судомеханическим отделением и выдается курсанту вместе с отзывом, форма К61 (см. Приложение 5).

Как правило, защита курсовой работы, должна быть произведена за одну - две недели до окончания семестра. График защиты выставляется в соответствии со сроками выполнения, указанном в задании на курсовое проектирование и заблаговременно доводится до общего сведения.

Оценка за проект выставляется после выполнения всех разделов задания, исправлений и доработки с учетом знаний проектанта, обнаруженных им при собеседовании. Критерием для оценки являются:

- степень самостоятельности выполнения проекта
- качество усвоения материала
- приобретение знаний и навыков, вытекающих из задач курсового проектирования

МО – 26 02 05-МДК.01.01.КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.10/80

### 1.8 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

- при выполнении курсовой работы, необходимо строго соблюдать Требования Стандартов ЕСКД к конструкторской документации, Государственные стандарты, Нормативные документы и рекомендации.

- отработку вопросов и выполнение необходимых расчетов в соответствии с заданием на курсовое проектирование, целесообразно производить параллельно с выполнением графических документов.

#### Обозначение курсовых и дипломных работ

Курсовые работы по профессиональным модулям принято обозначать в соответствии с ГОСТ 2.201-80 «ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов», установив следующую структуру обозначения:

	XXXX	. XXXXXX	. XXX
Код организации разработчика (Калининградский морской рыбопромышленный колледж (КМРК))			
Код специальности – 26.02.05 (без разделительных знаков)			
Порядковый регистрационный номер -	(порядковый номер фамилии обучающегося в приказе по закреплению темы работы)		

Например, обозначение курсовой работы - для специальности **26.02.05**

Эксплуатация судовых энергетических установок: *КМРК.26.02.05.*

*К обозначению документа, установленного стандартом ЕСКД добавляются шифры:*

*для пояснительной записки - ПЗ, а для чертежей и схем – 000, 001, 002 и т.д. с дополнением ВО - общий вид; ТС - технологическая схема; КС - кинематическая схема; МЧ - монтажный чертеж; ГС - гидравлическая схема; СБ - сборочный чертеж; ГЧ - габаритный чертеж; ТБ – таблицы; РР – расчеты, ПЛ - планировка.*

Текстовый документ представляется пояснительной запиской, первым листом которой является **титульный лист** (без нумерации), оформленный на формате А4 для курсовой работы по форме F-7.5-04.04

Схемы титульных листов для работ составлены по аналогии с рекомендациями ГОСТ 2.105–95.

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
**Калининградский морской рыбопромышленный колледж**

Допущен к защите

\_\_\_\_\_

должность руководителя учебного подразделения

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

\_\_\_\_\_

наименование профессионального модуля

**Курсовая работа**

\_\_\_\_\_

тема работы

Пояснительная записка

\_\_\_\_\_

обозначение документа

Разработал обучающийся \_\_\_\_\_

шифр учебной группы

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия



Следующим документом пояснительной записки является **график поэтапного выполнения курсовой работы** обучающегося. График разрабатывается руководителем работы по форме форма F-7.5-01.09.

Форма F-7.5-01.09

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_

должность руководителя учебного подразделения

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

## График

поэтапного выполнения \_\_\_\_\_ работы

вид выполнения работы (курсовая, дипломная)

по профессиональному модулю \_\_\_\_\_

наименование профессионального модуля

\_\_\_\_\_

фамилия, имя, отчество обучающегося

специальность \_\_\_\_\_

код

курс \_\_\_\_\_

учебная группа \_\_\_\_\_

шифр группы

Этапы работы	Последовательность выполнения работы		Примерный объем выполняемого этапа в %	Срок выполнения	Отметка руководителя о выполнении работы
	пояснительная записка (разделы и подразделы)	графические документы			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
<i>Итого</i>					

Сдача руководителю работы на проверку и составление отзыва

\_\_\_\_\_

дата

Руководитель работы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.14/80

## 1.9 ПОДГОТОВКА РАБОТЫ К ЗАЩИТЕ

1. Перед предоставлением работы на проверку руководителю автору необходимо:

- 1) проверить нумерацию страниц;
- 2) заменить страницы, на которых появились исправления;
- 3) проверить текст на наличие абзацев и окончание строк;
- 4) а также проверить:
  - нет ли орфографических и пунктуационных ошибок;
  - нет ли различия в условных обозначениях и сокращениях;
  - правильно ли сделаны ссылки на текст, расчеты, рисунки, библиографию

и т.д.

- не перепутаны ли элементы формул, имеющих сходные начертания,
- все ли буквенные символы расшифрованы, нет ли повторений;
- все ли страницы, таблицы, рисунки пронумерованы.

2. При просмотре законченной работы руководитель отмечает на полях пояснительной записки все замечания, которые должны быть учтены автором работы. Если необходимо представить дополнительные пояснения и расчеты, то их надлежит помещать на обороте предыдущей страницы.

3. По окончании выполнения курсовой работы титульный и заглавный листы пояснительной записки и графические документы подписывает автор и руководитель работы. Руководитель работы оформляет *письменный отзыв о качестве работы автора* по форме F-7.5-01.10.

По окончании выполнения курсовой работы титульный и заглавный листы пояснительной записки и графические документы подписывает автор, консультанты по отдельным разделам работы и руководитель работы. Руководитель работы оформляет *письменный отзыв о качестве работы автора* по форме F-7.5-01.24.

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.15/80

## РАЗДЕЛ 2. ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1 Расчет рабочего цикла

$N_e$  – эффективная мощность двигателя (кВт)

$N_i$  – индикаторная мощность двигателя (кВт)

$N_{eц}$  – эффективная цилиндровая мощность двигателя (кВт)

$P_i, P_e$  – среднее индикаторное и среднее эффективное давление цикла (Па)

$D$  – диаметр цилиндра (м)

$S$  – ход поршня (м)

$i$  – коэффициент учитывающий тактность двигателя

$z$  – число цилиндров

$V_s$  – рабочий объем цилиндра (м<sup>3</sup>)

$V_c$  – объем камеры сжатия (м<sup>3</sup>)

$V_a$  – полный объем цилиндра (м<sup>3</sup>)

$n$  – частота вращения коленчатого вала (с<sup>-1</sup>)

$c_m$  – средняя скорость поршня (м/с)

$b_i, b_e$  – удельный индикаторный и эффективный расход топлива (кг/кВтчас)

$Q_H$  – низшая теплота сгорания топлива (теплотворная способность топлива)  
(КДж/кг)

$T_o, P_o$  – температура в °К и давление окружающей среды (МПа) ГОСТ1050-2014

$T_a, P_a$  – температура и давление в конце процесса наполнения

$T_c, P_c$  – температура и давление в конце процесса сжатия

$T_z, P_z$  – максимальная температура и максимальное давление цикла

$T_b, P_b$  – температура и давление в конце процесса расширения

$T_r, P_r$  – температура и давление остаточных газов

$P_T$  – давление газов в выпускном коллекторе

$T_k, P_k$  – температура и давление после нагнетателя

$n_k$  – показатель политропы сжатия в нагнетателе

$\Delta T_{хол}$  – перепад температуры воздуха на холодильнике после нагнетателя

$\Delta P_{хол}$  – потеря давления воздуха на холодильнике после нагнетателя

$T_s, P_s$  – температура и давление свежего заряда воздуха перед органами впуска

$n_1, n_2$  – средний показатель политропы сжатия и расширения в цилиндре двигателя

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.16/80

$\eta_n$  – коэффициент наполнения цилиндра двигателя свежим зарядом воздуха

$\gamma_r$  – коэффициент остаточных газов

$\lambda$  – степень повышения давления

$\rho$  – степень предварительного расширения

$\varepsilon$  – степень сжатия

$\delta$  – степень последующего расширения

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха

$L_0, L$  – теоретически необходимое и действительное количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива (КМоль/кг)

$M$  – количество молей продуктов сгорания (КМоль/кг)

$\beta_0, \beta$  – теоретический и действительный коэффициент молекулярного изменения

$\zeta$  – коэффициент использования тепла в процессе горения

$C'_v$  – средняя мольная изохорная теплоемкость воздуха (кДж/КМоль<sup>0</sup>К)

$C''_{vm}, C''_{pm}$  – средняя мольная изохорная и изобарная теплоемкости продуктов сгорания

$\Psi$  – потерянная доля хода поршня в процессе газообмена двухтактных двигателей

$\phi$  – коэффициент полноты индикаторной диаграммы

Примечание: Все давления значений расчетных точек цикла даются в абсолютных величинах, а температуры в градусах Кельвина.

## 2.2 Кинематика и динамика двигателя

$R$  – радиус кривошипа (м)

$\alpha$  – угол поворота кривошипа коленчатого вала (<sup>0</sup>п.к.в.)

$L$  – длина шатуна (м)

$\lambda$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна

$\beta$  – угол отклонения оси шатуна от оси цилиндра

$a$  – ускорение поршня

$\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала (с<sup>-1</sup>)

$M_p$  – масса возвратно-поступательно движущихся частей, отнесенная к площади поршня (мН/м<sup>2</sup>)

$\phi_k$  – угол заклинки кривошипов

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.17/80

$P_j$  – сила инерции возвратно-поступательно движущихся масс, отнесенная к площади поршня

$P_d$  – движущая сила, отнесенная к площади поршня

$P_b$  – сила тяжести возвратно-поступательно движущихся масс отнесенная к площади поршня

$T$  – касательная сила, отнесенная к площади поршня

$\Sigma T$  – суммарная касательная сила, отнесенная к площади поршня

$T_{cp}$  – средняя касательная сила, отнесенная к площади поршня

$T_{сртеор}$  – теоретическая средняя касательная сила

$M_{кр}$  – крутящий момент

$\delta$  – степень неравномерности вращения коленчатого вала

### **РАЗДЕЛ 3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СУДОВЫМ ДИЗЕЛЯМ**

Основные требования, предъявляемые к судовым дизелям:

- надежность в работе – свойство дизеля обеспечивать нормальную бесперебойную работу в течение установленного времени на всех заданных эксплуатационных режимах, без снижения заданной мощности, а также каких-либо вынужденных остановок. Надежная работа обеспечивается рациональной конструкцией дизеля и степенью ее отработки; стабильностью выбранных материалов; высоким качеством изготовления; строгим соблюдением всех правил технической эксплуатации.

- высокий ресурс, т.е. возможно продолжительный срок службы до капитального ремонта, в течение которого дизель должен работать надежно и экономично, не снижая своих эксплуатационных показателей.

- высокая экономичность – возможность работать с минимальными удельными расходами топлива и масла на различных эксплуатационных нагрузках и особенно на нагрузках, близких к номинальным.

- безотказный пуск, как холодного, так и горячего дизеля при различных условиях окружающей среды и при наименьших затратах на пуск от посторонних источников энергии.

- технологичная, рациональная и по возможности простая конструкция дизеля, облегчающая его изготовление, монтаж и обслуживание во время эксплуатации.

- возможно полное уравнивание сил инерции вращающихся и возвратно-поступательно движущихся масс, а также их моментов во избежание возникновения вибрации фундамента и корпуса судна.

- возможно меньшие удельные габариты и масса дизеля и его вспомогательных механизмов как навешанных на дизель, так и установленных вне его.

- отсутствие запретных критических зон частоты вращения для эксплуатационных режимов (особенно для зон, близких к номинальному режиму).

- обеспечение заданной степени неравномерности вращения при номинальной частоте оборотов.

- доступность для наблюдения и осмотра всех наиболее ответственных узлов и систем дизеля.

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.19/80

- обеспечение быстрой и удобной разборки и сборки всех ответственных деталей дизеля, а также удобство ремонта этих деталей.

- полная безопасность обслуживания дизеля при всех эксплуатационных условиях его работы.

- обеспечение минимального шумового уровня, инфракрасного излучения и вибрации самого дизеля, а также его систем впускной, выпускной, продувочной и наддувочной.

- возможность работы дизеля на различных сортах топлива, в том числе и на тяжелых и высокосернистых сортах.

- возможно полная автоматизация работы и управления дизелем для уменьшения количества обслуживающего персонала и облегчения ухода за дизелем.

## РАЗДЕЛ 4. ТОПЛИВО ДЛЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Для судовых дизелей в соответствии с ГОСТ 5.4121-75 топлива условно подразделяются по уровню вязкости при температуре 50<sup>0</sup>С на маловязкие, средневязкие и высоковязкие.

Таблица 1

Тип топлива	Вязкость кинематическая мм <sup>2</sup> /с, (сСт)		Плотность при 20 <sup>0</sup> С кг/м <sup>3</sup> , не более	Содержание серы, % не более	Коксуемость, % не более	Зольность, % не более
	50 <sup>0</sup> С	80 <sup>0</sup> С				
Маловязкие	Менее 12	-	890	1,0	0,5	0,05
Средневязкие	От 12 до 150	От 5 до 40	970	2,5	9,0	0,20
Высоковязкие	Более 150	От 40 до 120	1015	4,3	-	0,20

В зависимости от типа, наличия соответствующей системы топливоподготовки и результатов испытаний дизеля рекомендуется применять следующие виды топлив:

- для малооборотных дизелей до 200 об/мин маловязкие сорта топлив типа дизельных дистиллятных ГОСТ 305-2013, средневязкие топлива типа ДТ и высоковязкие сорта топлив типа ДМ ГОСТ 1667-68, а так же мазуты: мазут флотский Ф5, Ф12, топочный 40, топочный 100.

- для среднеоборотных дизелей до 500 об/мин маловязкие сорта топлив ГОСТ 305-2013, и средневязкие сорта топлив типа ДТ по ГОСТ 1667-68.

- для двигателей повышенной оборотности при n > 750 об/мин только маловязкие сорта топлив.

- для всех дизелей независимо от оборотности газотурбинное топливо по ГОСТ 10585-2013.

Все вышеуказанные сорта топлив должны удовлетворять требованиям стандартов, которые приведены в Таблице 2.

Физико-химические свойства топлив,  
рекомендуемых к применению в судовых дизелях

Таблица 2

Показатели	Марка топлив									
	Дизельное для тепловозных и судовых ДВС (ГОСТ 305-2013)			Моторное для СОД и МОД (ГОСТ 1667-68)		Нефтяное, мазут для котельных установок (ГОСТ 10585-2013)			Газотурбинное (ГОСТ 10433-75)	
	Л	З	А	ДТ высший сорт	ДТ первый сорт	ДМ	Ф <sub>5</sub>	Ф <sub>12</sub>	А	Б
Цетановое число, не менее	45	45	45	-	-	-	-	-	-	-
Вязкость кинематическая при 20 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с не более	3,0 – 6,0	1,5 – 5,0	1,5 – 4,0	-	-	-	-	-	-	-
Вязкость условная	-	-	-	2,95	5,0	17,4	5,0	12,0	1,6	3,0

°Ву при 50°С, не более										
Температура застывания °С для климатической зоны не выше: умеренной/холодный	-10	-35/45	-55	-	-	-	-	-	-	-
Температура вспышки, °С не ниже	-	-	-	70	65	85	80	90	65	62
Массовая доля серы % не более: Малосернистые: Сернистые:	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 0,4	0,5 1,5	0,5 1,5	- 2,0	- 2,0	0,6 -	1,8 -	1,0 1,0
Массовая доля механических примесей % не более	отс	отс	отс	0,05	0,05	0,1	0,1	0,12	0,02	0,03
Массовая доля воды % не более	отс	отс	отс	0,1	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5
Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива не более	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-
Зольность, % не более	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,05	0,1	0,2	0,5
Коксуюемость, % не более	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	9,0	6,0	6,0	-	-
Плотность при 20°С кг/м <sup>3</sup> не более	860	840	830	930	930	970	955	960	-	935

В состав топлив для дизелей входят: С – углерод, Н – водород, S – сера и О – кислород, а так же некоторое количество воды и золы. В расчетах наличием мелких составляющих пренебрегают, поэтому следует принимать средний состав топлива по наличию С, Н, S, О. Средний состав топлив приведен в Таблице 3.

Таблица 3

Средний состав жидких топлив

Состав в %	Дизельные топлива	Моторные топлива	Нефтяные, мазут
С	87,0	86,6	86,4
Н	12,4	11,3	11,1
О	0,4	0,5	0,5
S	0,2	1,6	2,0

Теплотворную способность топлива по химическому составу можно определить по формуле Д.И.Менделеева:

$$Q_n = 33900x_C + 103000x_H - 10900x(O - S) \text{ кДж/кг топлива}$$

где: С, Н, О и S – соответственно содержание углерода, водорода, кислорода и серы в массовых долях (например, если углерода С = 85%, то в формулу нужно подставлять С = 0,85). Эти данные приведены в Таблице 4.

Таблица 4

Вид топлива	Низшая теплота сгорания Q <sub>n</sub> МДж/кг	Плотность ρ при 20°С кг/м <sup>3</sup>
Дизельное	42,4 – 43,2	830 – 880
Соляровое масло	42,0 – 42,4	860 – 920
Моторное	41,0 – 42,0	870 – 940
Мазут	40,4 – 41,5	До 1015

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.22/80

### Механический к.п.д. двигателя

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{N_{\text{мех}}}{N_i}$$

Где:  $\eta_{\text{мех}}$  – мощность механических потерь на трение, насосные хода поршня и привода навешанных механизмов.

$\eta_{\text{мех}}$  можно определить по данным стендовых заводских испытаний.

Эти данные приведены в Таблице 5.

Таблица 5

Четырехтактные ДВС		Двухтактные ДВС	
без надува	с надувом	без надува	с надувом
0,75 – 0,85	0,85 – 0,88	-	0,85 – 0,92

Механический КПД показывает, какая часть инд. Мощности может быть превращена в полезную работу, он учитывает потерю на трение , затраты мощности на привод вспомогательных механизмов, а также потери мощности на выталкивание отработавших газов и наполнения цилиндров свежим зарядом. Кроме того, мех. КПД характеризует рациональность конструкции двигателя, обработки и сборки детали.

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.23/80

## РАЗДЕЛ 5. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ЦИКЛА

### 5.1. Параметры процесса наполнения

В реальном двигателе в начале каждого цикла в цилиндр двигателя поступает определенное количество свежего заряда воздуха. На процесс наполнения влияют следующие факторы:

- аэродинамические потери во впускном тракте, впускных клапанах и продувочных окнах, а если двигатель с наддувом, сюда добавляются потери на холодильнике воздуха после нагнетателя, в результате чего давление в конце процесса наполнения снижается.

- подогрев воздуха от соприкосновения с нагретыми деталями двигателя (стенки цилиндров, доньшко поршня, крышка цилиндра, клапана, продувочные окна и т.д.) в результате чего его температура повышается и соответственно уменьшается плотность и количество свежего заряда.

- неполная очистка цилиндра от продуктов сгорания, т.к. при любой схеме газообмена в цилиндре всегда остаются остаточные газы.

- перемешивание свежего заряда воздуха с горячими остаточными газами еще больше снижает плотность воздуха.

Все это приводит к тому, что действительное количество воздуха, поступившего в цилиндр двигателя, меньше того теоретического количества воздуха, которое могло бы разместиться в цилиндре.

Давление в конце процесса наполнения по опытным данным составляет для четырехтактных ДВС:

$$\text{без наддува } P_a = (0,85 - 0,9)P_0$$

$$\text{с наддувом } P_a = (0,9 - 0,96)P_s$$

$P_0 = 0,1$  Мпа по ГОСТ 10150-88;  $P_s$  – давление перед впускными клапанами у 4-х тактных ДВС с наддувом (см. приложение)

В 2-х тактных ДВС  $P_s$ - давление в продувочном и наддувочном ресивере. При расчете давление принимаем в абсолютных величинах. В формулах (3) и (4) меньшие значения относятся к быстроходным дизелям. При отсутствии промежуточного охлаждения воздуха после нагнетателя можно принять  $P_s = P_k$ , где  $P_k$  – давление воздуха после нагнетателя. Величиной  $P_k$  задаемся, используя данные двигателя – прототипа. При наличии холодильника после нагнетателя для 2-х и 4-х тактных ДВС давление  $P_s$  рассчитываем по формуле:

$$P_s = P_k - \Delta P_{\text{хол}}$$

где:  $\Delta P_{\text{хол}}$  - потеря давления от сопротивления холодильника;

$\Delta P_{\text{хол}} = (0,003 - 0,005)$  МПа меньшие значения относятся к низким степеням наддува.

Степень увеличения мощности ДВС посредством наддува принято оценивать коэффициентом, получившим название степень наддува:

$$\lambda_n = N_{\text{ен}}/N_e = \rho_{\text{ен}}/\rho_e$$

где:  $N_{\text{ен}}$ ,  $\rho_{\text{ен}}$  – эффективная мощность и среднее эффективное давление двигателя, форсированного наддувом. По достигнутому значению  $\rho_{\text{ен}}$  двигателя можно разделить на три категории:

Таблица 6

Степень наддува	Четырехтактные ДВС	Двухтактные ДВС
Умеренный наддув	$\lambda_n = (1,2 - 1,5)$	$\lambda_n = 1,2$
Повышенный наддув	$\lambda_n = (2,0 - 2,5)$	$\lambda_n = (1,2 - 1,5)$
Высокий наддув	$\lambda_n = (2,5 - 3,0)$	$\lambda_n = (2,0 - 2,5)$

В современных конструкциях двигателей степень наддува достигает значений (4,5 – 4,9) у четырехтактных ДВС и (3,5 – 3,8) у двухтактных ДВС.

Температуру окружающей среды принимаем согласно ГОСТ 10150-88

$$T_0 = 298\text{K}.$$

Значения температуры свежего заряда воздуха в конце процесса наполнения должны находиться в пределах:

$$4\text{-х тактные ДВС } T_a = (300 - 350) \text{ K}$$

Подогрев свежего заряда воздуха от нагретых деталей составляет:

$$4\text{-х тактные с наддувом } \Delta T = 5 - 10^0$$

При наддуве степень охлаждения воздуха в холодильнике составляет:

$$\Delta T_{\text{хол}} = T_k - T_s$$

$T_k$  – температура воздуха после нагнетателя

$T_s$  - температура воздуха перед впускными органами

$$\Delta T_{\text{хол}} = 20 - 140^0, \text{ при отсутствии холодильника } T_s = T_k, \text{ а } \Delta T_{\text{хол}} = 0$$

Для определения температуры воздуха  $T_k$  необходимо выбрать величину показателя политропы сжатия в нагнетателе  $n_k$ :

Для нагнетателей:

$$\text{Поршневых } n_k = 1,4 - 1,6$$

$$\text{Ротативных } n_k = 1,55 - 1,75$$

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.25/80

Центробежных с неохлаждаемым корпусом  $n_k = 1,8 - 2,0$

Центробежных с охлаждаемым корпусом  $n_k = 1,4 - 1,8$

Коэффициент наполнения  $\eta_k$  представляет собой отношение количества воздуха действительно поступившего в цилиндр двигателя, к теоретически возможному, которое могло бы разместиться в цилиндре.

Для четырехтактных ДВС:  $\eta_k = 0,8 - 0,95$

Давление остаточных газов определяются по эмпирическим зависимостям:

4-х тактные тихоходные ДВС  $P_r = (1,03 - 1,1)P_0$

4-х тактные быстроходные ДВС  $P_r = (1,05 - 1,15)P_0$

2-х и 4-х тактные ДВС с газотурбитованным наддувом  $P_r = (0,75 - 1,0)P_s$

Температура остаточных газов принимается в зависимости от типа двигателя:

4-х тактные с наддувом  $T_r = 700 - 1000 \text{ K}$

Нижние значения относятся к тихоходным дизелям.

Величиной коэффициента остаточных газов  $y_r$  задаются или для 4-х тактных ДВС без наддува определяются аналитическим путем (см. пример расчета цикла). Для 2-х тактных ДВС не представляется возможным установить зависимость между  $y_r$  и  $\eta_n$ , поэтому формулы для определения  $y_r$  нет.

По опытным данным для дизелей:

4-х тактные с наддувом  $y_r = 0,02 - 0,03$

## 5.2 Параметры процесса сжатия.

Выбор степени сжатия  $\epsilon$  и среднего показателя политропы сжатия  $n_1$  зависит от многих факторов, таких как:

- тип двигателя
- конструктивные особенности
- материал поршня
- быстроходность
- способ смесеобразования
- наличие или отсутствие наддува и многие другие.

Степень сжатия различных типов двигателей находится в пределах:

- 4 т ДВС без наддува  $\epsilon = 14 - 18$
- 4 т. ДВС с наддувом  $\epsilon = 12 - 13,25$
- 2 т ДВС  $\epsilon = 11 - 12,9$

Следует отметить, что в современных двигателях повышенной оборотности фирмы MAN и MAK, принимают степень сжатия  $\epsilon = 15,2 - 15,9$ , при этом степень повышения давления, принимают  $\lambda = 1,01 - 1,3$ .

По опытным данным средний показатель политропы сжатия  $n_1$  имеет следующие значения:

- тихоходные дизели большой и средней мощности с охлаждаемыми чугунными поршнями  $n_1 = 1,32 - 1,29$

- быстроходные дизели с неохлаждаемыми поршнями  $n_1 = 1,38 - 1,42$

- дизели с алюминиевыми поршнями  $n_1 = 1,33 - 1,38$

Показатель политропы  $n_1$  уточняется методом последовательных приближений по уравнению:

$$n_1 = \frac{1,986}{4,6 + 0,0006 \cdot T_{a(1+\epsilon^{n_1-1})}} + 1$$

Выбираем первоначальное значение показателя политропы  $n_1$  и подставляем в формулу. Вычисляем новое значение  $n_1$  и сравниваем его с первоначальным. Если разница будет меньше 0,002 прекращаем вычисления. Если это условие не выполняется то подставляем вычисленное значение  $n_1$  в формулу пока не выполнится условие  $n_{1(\text{выч})} - n_{1(\text{пред})} < 0,002$ .

### 5.3 Параметры процесса сгорания

При расчете рабочего цикла важно оценить величину коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . По опытным данным в зависимости от качества смесеобразования средние величины  $\alpha$  находятся в следующих пределах и приведены в Таблице 7.

Таблица 7

Тип двигателя	Коэффициент избытка воздуха $\alpha$
Без наддува:	
Тихоходные	1,8 – 2,1
Быстроходные	1,3 – 1,7
С наддувом:	
Тихоходные	2,0 – 2,3
Быстроходные	1,5 – 1,9
С 2-х камерным смесеобразованием	1,4 – 1,7

Коэффициент использования тепла  $\zeta$  зависит от совершенства процесса сгорания топлива, потерь теплоты в период сгорания топлива, наличия или отсутствия догорания на линии расширения и диссоциации продуктов сгорания и при

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.27/80

прочих равных условиях зависит от быстроходности двигателя. При расчете максимальной температуры рабочего цикла для выбора  $\zeta$  можно руководствоваться следующими данными:

Для двигателей внутреннего сгорания:

- тихоходных дизелей  $\zeta = 0,8 - 0,9$
- быстроходных дизелей  $\zeta = 0,65 - 0,85$

Чем высокооборотней двигатель, тем больше возрастает догорание, тем меньше коэффициент использования тепла. В двигателях с отдельными камерами сгорания  $\zeta$  снижается из-за потерь на вихреобразование. Большое значение относится к МОД

Эмпирические формулы для определения мольных теплоемкостей воздуха и продуктов сгорания, а так же методика определения максимальной температуры цикла  $T_z$  при решении уравнения сгорания приведены в расчетах рабочего цикла ДВС. При решении вопроса о значении величин  $P_z$ ,  $T_z$ ,  $\lambda$  и  $\rho$  необходимо исходить из условия ограничения механической и тепловой напряженности деталей двигателя. Чем выше  $\lambda$  и меньше  $\rho$ , тем экономичнее будет двигатель, в то же время тем больше будет максимальное давление цикла  $P_z$  и тем жестче будет работать двигатель. Необходимо изучить важнейшие эксплуатационные показатели двигателей – прототипов, рекомендуемых в задании на курсовое проектирование и сопоставить расчетные параметры с действительными для данного типа дизелей. Величины параметров процесса сгорания приведены в Таблице 8.

Таблица 8

Тип двигателя	$P_z$ (МПа)	$T_z$ К	$\lambda$	$\rho$
Малооборотный	6 – 10	1700 – 1900	1,3 – 1,55	1,6 – 1,4
Среднеоборотный	6 - 13	1800 - 2000	1,5 – 2,0	1,7 – 1,3

Большое значение  $P_z$  и малые  $\lambda$ , характерны для двигателей с высокой степенью наддува.

Следует отметить, что в современных двигателях повышенной оборотности фирмы MANB&W дизеля марки 6L 32/40 максимальное давление цикла  $P_z = 24$  МПа, а давление сжатия  $P_c = 18$  МПа. Действительный коэффициент молекулярного изменения  $\beta$  находится в пределах  $\beta = 1,025 - 1,05$

#### 5.4 Параметры процесса расширения

В действительном рабочем цикле процесс расширения происходит по политропе с переменным показателем  $n_2$ . Это связано с тем, что в процессе

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.28/80

расширения тепловой поток все время направлен от газов к стенкам цилиндров, а газ получает теплоту при догорании топлива.

В расчетном цикле для упрощения принимают условие – процесс расширения протекает с некоторым постоянным средним показателем политропы  $n_2$ . Его значение выбирают таким, чтобы кривая расширения, построенная по закону политропы, возможно ближе подходила к действительному процессу расширения в цилиндре. Опытные значения среднего значения показателя политропы расширения приведены в таблице 9.

Таблица 9

Тип двигателя	Показатель
Быстроходные ДВС с неохлаждаемыми поршнями	1,15 – 1,25
Тихоходные ДВС с охлаждаемыми поршнями	1,25 – 1,28
Малооборотные мощные ДВС	1,27 – 1,32

После выбора показателя политропы  $n_2$  для своего типа двигателя он должен быть уточнен методом последовательных приближений по следующей эмпирической зависимости:

$$n_2 = \frac{1.986}{a + b * T_z * \left(1 + \frac{1}{\delta n_2 - 1}\right)} + 1$$

где:

$$a = \frac{4.89 + (\alpha - 1) * 4.6}{\alpha}$$

$$b = \frac{86 + (\alpha - 1) * 60}{\alpha * 10^5}$$

Уточнение показателя политропы расширения производится точно так же как и  $n_1$ .

Параметры в конце процесса расширения в зависимости от типа двигателя приведены в таблице 10.

Таблица 10

Тип двигателя	Давление в конце расширения $P_B, \text{MPa}$	Температура в конце расширения $T_{BK}$	Степень последующего расширения $\delta$
тихоходные	0,25 – 0,35	900 – 1000	от 7,5
быстроходные	0,3 – 0,6	1000 - 1200	до 10,5

Степень предварительного расширения

$$\rho = \frac{V_z}{V_c} = (1.2 \div 1.6)$$

Степень последующего расширения

$$\delta = \frac{V_b}{V_z} = \frac{\varepsilon}{\rho} = (8.0 \div 11)$$

### 5.5 Среднее индикаторное и среднее эффективное давление

Среднее индикаторное давление — это условное постоянное давление, которое действуя на поршень за время одного хода расширения совершает работу, равную индикаторной работе цикла. Это один из важнейших индикаторных показателей, характеризующих мощность, развиваемую двигателем и его экономичность. Определяется среднее индикаторное давление по следующей зависимости

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} * \left[ \lambda * (\rho - 1) + \frac{\lambda * \rho}{n_2 - 1} * \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} * \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \text{ МПа}$$

Среднее индикаторное давление  $P_i$  (с учетом округления углов действительной индикаторной диаграммы) для 4-х тактных ДВС выражается формулой:

$$P_i = P_i' * \varphi$$

где:  $\varphi$  - коэффициент полноты диаграммы  $\varphi = (0.95 - 0.98)$

Среднее эффективное давление является важнейшим эффективным показателем работы двигателя, не только тепловые потери, но и механические потери:

$$P_e = P_i * \eta_{\text{мех}}$$

Где  $\eta_{\text{мех}}$  – механический К.П.Д. оценивает количественно механические потери, технологическое совершенство конструкции двигателя и принимается в соответствии с таблицей 5.

### 5.6 Основные эксплуатационные и конструктивные показатели

#### *Индикаторные показатели*

- $P_i$  – среднее индикаторное давление, МПа
- $b_i$  – индикаторный массовый удельный расход топлива, кг/и.кВт.час
- $\eta_i$  – индикаторный коэффициент полезного действия
- $N_i$  – индикаторная мощность двигателя, кВт

#### *Эффективные или внешние показатели*

- $P_e$  – среднее эффективное давление, МПа
- $b_e$  – эффективный массовый удельный расход топлива, кг/э кВт.час
- $\eta_e$  – эффективный коэффициент полезного действия
- $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.30/80

Удельный индикаторный расход топлива и индикаторный к.п.д. оценивают экономичность действительного цикла и характеризует тепловые потери внутри цилиндра.

Удельный эффективный расход топлива и эффективный к.п.д. оценивают степень использования тепла в целом, т.е. с участием тепловых и механических потерь.

### Число оборотов

Число оборотов коленчатого вала в секунду (или в минуте) указывается в задании на курсовое проектирование. Классификация двигателей по оборотам приведена в таблице 11.

Таблица 11

Тип двигателя	Число оборотов в минуту, n
Малооборотные ДВС (МОД)	100 – 250
Среднеоборотные ДВС (СОД)	250 – 600
Повышенной оборотности (ПОД)	600 – 1000
Высокооборотные (ВОД)	>1000

Если выполняется проект дизель генератора, то число оборотов зависит от числа пар плюсов:

Таблица 12

Число пар плюсов	1	2	3	4	6	8	10	12	18	20
n, мин <sup>-1</sup>	3000	1500	1000	750	500	375	300	250	167	150

### Степень форсировки

Степень форсировки двигателя оценивается по удельной поршневой мощности [ ] в кВт/дм<sup>2</sup>:

$$N_{e\text{ уд}} = \frac{N_e}{Z \frac{\pi D^2}{4}}$$

По степени форсирования современные дизели можно условно разделить на следующие категории:

нефорсированные  $N_{e\text{ уд}} < 20$  кВт/дм<sup>2</sup>

форсированные  $20 < N_{e\text{ уд}} < 100$  кВт/дм<sup>2</sup>

высокофорсированные  $N_{e\text{ уд}} > 100$  кВт/дм<sup>2</sup>

### Средняя скорость поршня

Средней скоростью поршня,  $S_m$  при определении основных размеров цилиндра проектант задается по табличным опытным данным или принимает ее согласно рекомендованному в задании двигателя – прототипа. Необходимо иметь

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.31/80

в виду, чем выше  $C_m$ , тем выше механическая и тепловая напряженность двигателя и тем меньше моторесурс.

$$C_m = 2 \cdot S \cdot n, \text{ м/с}$$

По средней скорости поршня двигателя условно делятся на следующие группы:

тихоходные  $C_m < 6,5$ , м/с

средней быстроходности  $C_m = (6,5 - 9,0)$ , м/с

быстроходные  $C_m = (9,0 - 13,0)$ , м/с

повышенной быстроходности  $C_m > 13$ , м/с

#### *Габаритные размеры двигателей*

Ориентировочная длина двигателей:

$$L = A \cdot z, \text{ мм}$$

где:  $A$  – расстояние между осями цилиндров, мм

$z$  – число цилиндров

для: 4-х тактных тихоходных дизелей  $A = (1,5 - 1,8)D$

4-х тактных быстроходных дизелей  $A = (1,2 - 1,4)D$

$D$  - диаметр цилиндра

Ширина двигателя по фундаментной раме:

$$B = b \cdot S$$

где:  $b = (2,3 - 2,6)$  для тихоходных двигателей

$b = (2,8 - 3,2)$  для быстроходных двигателей

$S$  – ход поршня

Высота двигателя:

$$H = h \cdot S$$

где:  $h = (4,5 - 5,0)$  для тронковых тихоходных дизелей

$h = (4,0 - 4,5)$  для тронковых быстроходных дизелей

$h = (5,0 - 5,5)$  для крейпцкопфных дизелей

## РАЗДЕЛ 6. ПОРЯДОК РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ЦИКЛА СУДОВОГО 4-Х ТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ГАЗОТУРБИНЫМ НАДДУВОМ

**6.1 Выбор исходных данных расчета рабочего цикла судового четырехтактного двигателя с газотурбинным наддувом, приведены в таблице 13.**

Таблица 13

№	Наименование величины	Обозначение величин	Размерность	Численное значение	Обоснование выбора
1	Эффективная мощность	$N_e$	кВт		по заданию
2	Частота вращения	$n$	об/сек		по заданию
3	Число цилиндров	$Z$			по заданию
4	Тактность двигателя	$i$			по заданию
5	Давление окружающей среды	$P_o$	МПа	0,1	ГОСТ10150-88
6	Температура окружающей среды	$T_o$	К	298	ГОСТ10150-88
7	Степень сжатия	$\epsilon$			По прототипу
8	Температура остаточных газов	$T_r$	К		
9	Показатель политропы сжатия в цилиндре двигателя	$n_1$			
10	Элементарный состав топлива	%			По заданию
11	Коэффициент избытка воздуха при сгорании	$\alpha$			
12	Степень повышения давления при сгорании	$\lambda$			По прототипу
13	Показатель политропы расширения	$n_2$			
14	Коэффициент полноты индикаторной диаграммы	$\varphi$			
15	Механический КПД двигателя	$\eta_{мех}$			По прототипу
16	Подогрев свежего заряда горячими деталями	$\Delta T$	К		
17	Коэффициент использования тепла присгорания	$\zeta$			
18	Коэффициент остаточных газов	$r$			
19	Давление после нагнетателя	$P_k$			
20	Показатель политропы сжатия в нагнетателе	$n_k$			
21	Понижение температуры в холодильнике	$\Delta T_{хол}$			
22	Понижение давления в хол. надувочного воздуха	$\Delta P_{хол}$			

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.33/80

## 6.2 Расчет параметров процесса наполнения рабочего цилиндра

Определяем температуру воздуха после центробежного нагнетателя.

$$T_k = T_o * \left( \frac{P_k}{P_o} \right)^{\frac{n_k-1}{n_k}} \quad (1)$$

$P_k$ - давление наддувочного воздуха (см. приложение)

Если температура воздуха в ресивере (за воздухоохладителем) при  $T_k=330$  К воздух охлаждают для понижения средней температуры цикла и увеличение наполнения цилиндра.

Устанавливаем холодильник.

Определяем температуру наддувочного воздуха за холодильником.

$$T_s = T_k - \Delta T_{хол} \quad К \quad (2)$$

Принимаем

$$\Delta T_{хол} \quad [6], \text{ с. 35} \quad 20 \div -140$$

Определяем температуру воздуха, поступающего в цилиндр нагретого горячими деталями.

$$T'_s = T_s + \Delta T \quad (3)$$

Принимаем

$$\Delta T = 5 \div 10 \quad [6], \text{ с. 35}$$

Определяем температуру смеси свежего заряда с остаточными газами в начале сжатия.

$$T_a = \frac{T'_s + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r} \quad (4)$$

Определяем давление наддувочного воздуха за холодильником.

$$P_s = P_k - \Delta P_{хол} \quad (5)$$

Определяем давление воздуха в начале сжатия.

$$P_a = 0,95 * P_s \quad (6)$$

Определяем коэффициент наполнения.

$$\eta'_n = \frac{P_a}{P_s} * \frac{T_s}{T_a} * \frac{1}{1 + \gamma_r} * \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \quad (7)$$

## 6.3 Расчет параметров процесса сжатия

Уточняем средний показатель политропы сжатия

$$n_1 = \frac{1,986}{4,6 + 0,0006 * T_a * (1 + \varepsilon^{n_1 - 1})} + 1 \quad (8)$$

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.34/80

После уточнения  $n_1$  окончательно принимаем.

Определяем температуру конца сжатия:

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1 - 1}, \text{К} \quad (9)$$

Определяем давление в конце сжатия:

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}, \text{МПа} \quad (10)$$

Расчет количества киломолей воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива.

Определяем теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

$$L_o = \frac{1}{0,21} * \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right), \frac{\text{кмоль}}{\text{кг.топлива}} \quad (11)$$

Определяем действительное количество воздуха:

$$L = L_o * \alpha, \frac{\text{кмоль}}{\text{кг.топлива}} \quad (12)$$

#### 6.4 Расчет параметров процесса сгорания:

Определяем количество киломолей продуктов сгорания 1 кг топлива:

$$M_1 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + \frac{S}{32} + L_o * (\alpha - 0,21), \frac{\text{кмоль}}{\text{кг.топлива}} \quad (13)$$

Определяем теоретический коэффициент молекулярного измерения:

$$\beta_o = \frac{M_1}{L} \quad (14)$$

Определяем действительный коэффициент молекулярного измерения:

$$\beta = \frac{\beta_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (15)$$

Определяем давление конца сгорания:

$$P_z = \lambda * P_c, \text{МПа} \quad (16)$$

Принимаем  $\lambda$  = по прототипу двигателя, либо из таблицы 8.

Определяем среднюю молярную изохорную теплоемкость воздуха в конце сжатия:

$$C''_{mv} = 19,3 + 0,0025 * T_c, \frac{\text{кмоль}}{\text{кг.топлива}} \quad (17)$$

Определяем среднюю молярную изохорную теплоемкость продуктов сгорания при максимальной температуре сгорания:

$$C''_{mv} = \frac{20,4 + (\alpha - 1) * 19,3}{\alpha} + \frac{360 + (\alpha - 1) * 251,4}{\alpha * 10^5} * T_z, \frac{\text{кмоль}}{\text{кг.топлива}} \quad (18)$$

Определяем среднюю молярную изобарную теплоемкость продуктов сгорания при максимальной температуре сгорания:

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.35/80

$$C''_{mp} = C''_{mv} + 8,32 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \quad (19)$$

Определяем низшую теплотворную способность по формуле Менделеева:

$$Q_H = 33900 * C + 103000 * H - 10900 * (O - S) \frac{\text{кДж}}{\text{кг.топлива}} \quad (20)$$

Определяем максимальную температуру конца сгорания по уравнению сгорания:

$$\frac{\zeta * Q_H}{L * (1 + \gamma_r)} + (C'_v + 8,32 \lambda) * T_c = \beta * C''_{mp} * T_z \quad (21)$$

Принимаем коэффициент использования тепла при сгорании:  $\zeta = (0,65 \div 0,9)$   
с.38

После подстановки значений в уравнение сгорания получаем квадратное уравнение. Решив это уравнение, получаем значение максимальной температуры в точке z. Конечная температура  $T_z$

$$T_z = \text{,К}$$

Для высокооборотных двигателей составляет  $T_z = 1800 \div 2000 \text{ К}$

Для малооборотных двигателей  $1700 \div 1800 \text{ К}$

Повышение  $T_z$  более  $2000 \text{ К}$  нежелательно во избежание повышения теплонапряженности.

## 6.5 Расчет параметров процесса расширения

Определяем степень предварительного расширения:

$$\rho = \frac{\beta * T_z}{\lambda * T_r} \quad (22)$$

Определяем степень последующего расширения:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} \quad (23)$$

Уточняем средний степень политропы расширения:

$$n_2 = \frac{1,986}{a + b * T_z * \left(1 + \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}\right)} + 1 \quad (24)$$

$$a = \frac{4,89 + (\alpha - 1) * 4,6}{\alpha}$$

$$b = \frac{86 + (\alpha - 1) * 60}{\alpha * 10^5}$$

Окончательно принимаем  $n_2 =$

Определяем температуру газов в конце расширения:

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2 - 1}}, \text{К} \quad (25)$$

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.36/80

Определяем давление газов в конце расширения:

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}, \text{ МПа} \quad (26)$$

Конечная температура  $T_z$  для высокооборотных двигателей составляет  $T_z$  1800-2000 К

Для малооборотных двигателей 1700 – 1800 К

Повышение  $T_z$  более 2000 К нежелательно во избежание повышения тепло напряженности.

## 6.6 Расчет основных индикаторных и эффективных показателей цикла

Определяем теоретическое среднее индикаторное давление:

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} * \left[ \lambda * (\rho - 1) + \frac{\lambda * \rho}{n_2 - 1} * \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} * \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \text{ МПа} \quad (27)$$

Определяем среднее индикаторное давление рабочего цикла (с учетом уменьшения площади индикаторной диаграммы на округление углов):

$$P_i = P_i' * \varphi, \text{ МПа} \quad (28)$$

Определяем среднее эффективное давление рабочего цикла:

$$P_e = P_i * \eta_{\text{мех}}, \text{ МПа} \quad (29)$$

Определяем индикаторный удельный расход топлива:

$$b_i = \frac{433 * \eta_H * P_e}{P_i * L * T_g}, \text{ кг.топлива / инд.кВт/час} \quad (30)$$

Определяем эффективный удельный расход топлива:

$$b_e = \frac{b_i}{\eta_{\text{мех}}}, \text{ кг.топлива / э.кВт/час} \quad (31)$$

Определяем индикаторный КПД цикла двигателя:

$$\eta_i = \frac{3600}{b_i * Q_H} \quad (32)$$

Определяем эффективный КПД двигателя:

$$\eta_e = \eta_i * \eta_{\text{мех}} \quad (33)$$

## 6.7 Расчет диаметра рабочего цилиндра и хода поршня

Определяем величину хода поршня, приняв среднюю скорость поршня

$$C_m = \frac{m}{c} \quad (34)$$

$$S = \frac{C_m}{2 * n}$$

Определяем диаметр цилиндра:

$$D = \sqrt{\frac{Ne}{393 * P_e + C_m * i * z}}, \text{ М} \quad (35)$$

Определяем отношение хода поршня к диаметру цилиндра:

$$\frac{s}{D} = \quad (36)$$

Диаметр и ход поршня соответствуют принятому двигателю.

Оценка форсировки двигателя.

Определяем степень форсировки двигателя по поршневой удельной мощности:

$$Ne_{уд} = \frac{Ne}{z * \frac{\pi D^2}{4}}, \frac{\text{кВт}}{\text{дм}^2} \quad \text{Вывод: стр. 21}$$

## 6.8 Построение индикаторной диаграммы

Примечание.

Принимаем длину отрезка  $V_a$ , соответствующего полному объему цилиндра:

$$V_a = \quad , \text{ мм}$$

Длину отрезка  $V_a$  для дальнейшего удобства графических построений целесообразно принять  $V_a = 200$  мм или 220 мм

Определяем отрезок  $V_c$ , соответствующий объему камеры сгорания:

$$V_c = \frac{V_a}{\epsilon}, \text{ мм} \quad (37)$$

Определяем длину отрезка  $V_s$ , соответствующего рабочему объему цилиндра:

$$V_s = V_a - V_c, \text{ мм} \quad (38)$$

Определяем длину отрезка  $V_z$ :

$$V_z = V_c * \rho, \text{ мм} \quad (39)$$

Откладываем длины отрезков по оси  $V$  (абсцисс).

Принимаем масштаб давления:

$$m = \frac{(0,8-0,9) * V_a}{P_z} \text{ и округляем до целого числа, } m = \frac{\text{мм}}{\text{МПа}} \quad (40)$$

Расчет политроп сжатия и расширения производим в табличной форме:

Таблица 14

№ точки	$e = \frac{V_2}{V_1}$	$V = \frac{V_a}{\epsilon}, \text{ мм}$	$P^I = P_a * m * e^{n_1}, \text{ мм}$	$P^{II} = P_b * m * e^{n_2}, \text{ мм}$
1	1,00			
2	1,25			
3	1,50			
4	1,75			
5	2,00			

...			
6	3,00		
7	4,00		
...	$e = \varepsilon$		$e = \delta$

После построения диаграммы подсчитываем ее площадь:

$$F_d = \text{, мм}^2$$

Определяем среднее индикаторное давление цикла по расчетной индикаторной диаграмме:

$$P_{ид} = \frac{F_d}{V_r * m}, \text{ МПа} \quad (41)$$

Находим процент расхождения  $P_i$  по расчетной диаграмме:

$$\Delta = \left( \frac{P_i - P_{ид}}{P_i} \right) * 100\% , \Delta \leq 3\% \quad (42)$$

*Примечание.*

Расчет политропы сжатия прекращается при  $e = \varepsilon$ .

Расчет политропы расширения прекращается при  $e = \delta$ .

Можно изменять  $e$  на 1,0.

На рис.1 представлена расчетная индикаторная диаграмма 4-х тактного двигателя

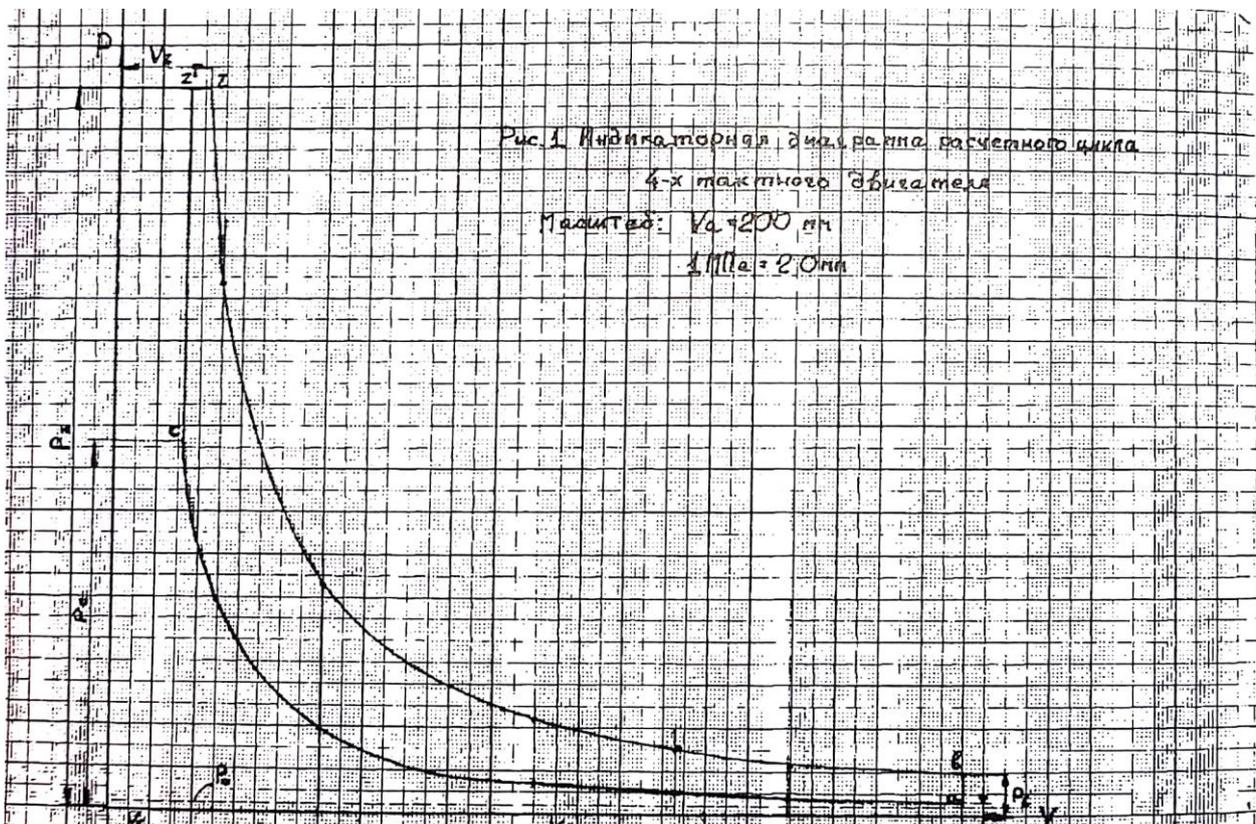


рис.1 индикаторная диаграмма 4-х тактного двигателя

## РАЗДЕЛ 7. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

### 7.1. Силы и моменты, действующие в кривошипно-шатунном механизме

В судовых ДВС возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала при помощи кривошипно-шатунного механизма. Силы, действующие в этом механизме, можно условно разделить на следующие группы:

- Силы от давления газов на днище поршня, мгновенные значения которых

$$P_r = P_g \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (43)$$

где:

$P_r$  – давление газа в цилиндре двигателя в данный момент времени Н/м<sup>2</sup>

$F$  – площадь поршня

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \text{ м}^2 \quad (44)$$

Давление газов изменяется за цикл в широких пределах от  $P_a$  до  $P_z$  в зависимости от положения поршня и угла поворота коленчатого вала. Период изменения давления газов у 4-х тактных двигателей 720°пкв у 2-х тактных 360°пкв.

- Силы тяжести поступательно движущихся частей  $P_b$ . Считают, что у тронковых двигателей в поступательном движении участвуют поршень и 0,4 массы шатуна, а у крейцкопфных, кроме того, шток, крейцкопф и ползун. Сила тяжести постоянна по величине и направлена вниз. У тронковых высокооборотных двигателей мала, по сравнению с другими силами, и ею обычно пренебрегают, у крейцкопфных двигателей она достигает больших значений и ею пренебрегать не стоит.

Определив вес поступательно-движущихся частей  $G$  по чертежам двигателя – прототипа или по данным технической документации завода-изготовителя определим их массу.

Тогда масса поступательно движущихся частей отнесется к  $n$  площади поршня

$$M_n = \frac{G}{g} \quad (44)$$

где:

$G$  – суммарный вес поступательно-движущихся частей

$g$  – ускорение свободного падения 9,81 м/с<sup>2</sup>

$F = \frac{\pi D^2}{4} \text{ м}^2$  - площадь поршня.

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.40/80

- Силы трения, которые не поддаются точному теоретическому подсчету и включаются в механические потери двигателя.

- Силы инерции возвратно поступательных движущихся масс  $P_j$  в общем случае:

$$P_j = M_n \cdot a \quad (45)$$

где:

$M$  - масса поступательно движущихся частей  $m/c^2$

$a$  – ускорение движущихся частей  $m/c^2$

Из курса технической механики известно, что для кривошипно шатунного механизма ускорение поршня определяется приближенным выражением:

$$a = R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

где:

$\varphi$  – угол поворота коленчатого вала

$\omega$  – угловая скорость

$$\omega = 2\pi n \text{ рад/сек} \quad (46)$$

$n$  – число оборотов коленчатого вала  $c^{-1}$

$$\lambda = \frac{R}{L} \quad (47)$$

$\lambda$  - Коэффициент, учитывающий влияние конечной длины шатуна, м

$R$  – радиус кривошипа, м

$L$  – длина шатуна

Таблица 16 страница 31.

Известно, что сила инерции достигает наибольшего значения там, где скорость становится равной нулю и меняет свой знак. Это положение мертвых точек кривошипа  $\varphi = 0^0$  и  $\varphi = 180^0$ , тогда выражение принимает вид:

$$P_{J_{ВМТ}} = -MR\omega^2(1 + \lambda) \text{ для } \varphi = 0^0_{\text{ПКВ}} \quad (48)$$

$$P_{J_{НМТ}} = MR\omega^2(1 - \lambda) \text{ для } \varphi = 180^0_{\text{ПКВ}} \quad (49)$$

Как видно в ВМТ силы инерции подвижных частей имеют отрицательное и наибольшее абсолютное значение, а в НМТ они продолжительны и принимают несколько меньшее значение, если иметь ввиду, что  $\lambda = 1/3,5 - 1/5$ .

Таким образом, в кривошипно шатунном механизме работающего двигателя в любой промежуток времени действуют силы от давления газов, силы тяжести и силы инерции поступательно движущихся частей, равнодействующая сила которых называется движущей силой.

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.41/80

$$P_{дв} = P_z + P_v + P_o + P_j \quad (50)$$

Все эти силы, в том числе и движущая, считаются положительными (знак «+»), если они способствуют движениям поршня и наоборот.

Для определения касательной силы при любом значении угла поворота кривошипа, независимо от тактности двигателя, необходимо построить диаграмму касательных сил, которая покажет характер и закономерность изменения касательной силы за цикл.

Если рассмотреть схему сил, действующих в кривошипно шатунном механизме [9], то касательная (тангенциальная) сила  $P$

$$P = P_{дв} * \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} \quad (51)$$

Следовательно для построения кривой касательных усилий предварительно необходимо построить диаграмму движущихся сил, которая равна алгебраической сумме от сил давления газов, силы тяжести поступательно движущихся частей и их сил инерции. Подобное суммирование удобно произвести графически, для чего следует все три составляющие силы привести к единице измерения давления газа (Па). Для этого необходимо привести к замене всей массы  $M$  движущихся частей  $M_n$  приходящейся на единицу площади поршня ( $m^2$ ).

Поскольку мы не знаем массу поступательно движущихся частей, то для расчета предварительно принимаем относительную (удельную) массу, отнесенную к  $1 m^2$  поршня, которые можно принять по следующим опытным данным, приведенным в Таблице 15.

Таблица 15

Тип двигателя	$m_n, \text{кг/м}^2$
Малооборотный тронковый	2500 ÷ 6000
Малооборотный крейцкопфный	7000 ÷ 13000
Среднеоборотный	1500 ÷ 3000
Высокооборотный	250 ÷ 700

Значение отношения радиуса кривошипа к длине шатуна  $\lambda$  для некоторых типов двигателей приведены в Таблице 16.

Таблица 16

№	Марка двигателя	Число оборотов, Об/с	$\lambda = \frac{R}{L}$	$C_m$ м/с
1	417,5/24 NVD24	750/12,5	$\frac{1}{4}$	6
2	ЧН21,8/33D50	750/12,5	$\frac{1}{4,3}$	8,25
3	ЧН20/30 20 МТВН30	500/8,33	$\frac{1}{4,7}$	5
4	Ч 25/34	500/8,33	$\frac{1}{4,44}$	5,66
5	ЧН 22/32 ВАН22	600/10	$\frac{1}{4,5}$	6,4
6	ЧНР 24/36 NVD36	360/6	$\frac{1}{4}$	4,32
7	ДР 30/50	300/5	$\frac{1}{4,48}$	5,0
8	ЧН 32/48 NVD48	275/4,58	$\frac{1}{4}$	4,4
9	ДР 43/61	250/4,17	$\frac{1}{4,49}$	5,09
10	ДКРН 57/80С KGZ 57/80 С	225/3,75	$\frac{1}{4,05}$	6
11	ДКРН 50/110	170/2,83	$\frac{1}{4}$	6,23
12	ДКРН70/120 KZ70/120С	130/2,17	$\frac{1}{4}$	5,21
13	ДКРН90/155 RD90	119/1,98	$\frac{1}{3,85}$	6,14
14	8ДН48/72 8ZD72/48AL-1	214/3,57	$\frac{1}{4}$	5,14
15	ДКРН74/160	115/1,92	$\frac{1}{3,9}$	6,13
16	ДКРН84/180 84VTBF180	110/1,83	$\frac{1}{4,2}$	6,59

Динамика 4-х тактного двигателя

## 7.2 Построение диаграммы сил инерции по методу Толле

Для удобства построения принимаем тот же масштаб, что и для индикаторной диаграммы.

Принимаем удельную массу поступательно движущихся частей в соответствии с таблицей 15.

$M_n$ , кг/м<sup>2</sup>

Принимаем для двигателя – прототипа отношение радиуса кривошипа к длине шатуна (см. таблица 16)

$$\lambda = \frac{R}{L}$$

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.43/80

Определяем силу инерции поступательно движущихся масс в ВМТ

$$P_{\text{ВМТ}} = -M_n R \omega^2 (1 + \lambda) \cdot 10^{-6} \text{ МПа} \quad (52)$$

Определяем силу инерции поступательно движущихся масс в НМТ

$$P_{\text{НМТ}} = -M_n R \omega^2 (1 - \lambda) \cdot 10^{-6} \text{ МПа} \quad (53)$$

Определяем величину вспомогательного отрезка EF

$$EF = -3M_n R \omega^2 \cdot \lambda \cdot 10^{-6} \quad (54)$$

По оси абсцисс откладываем отрезок АВ равный одному ходу поршня (рис. 2) масштаб тот же, что и при построении индикаторной диаграммы.

Из точки А, соответствующей ВМТ откладываем в принятом масштабе вверх отрезок АС, равный силе инерции при  $\varphi = 0^{\circ}_{\text{пкв.}}$

Из точки В, соответствующей НМТ откладываем вниз отрезок ВD, равный силе инерции при  $\varphi = 180^{\circ}_{\text{пкв.}}$

Из выражений ( ) видно, что ордината АС имеет знак минус, а ВD плюс, и по правилам они должны быть отложены в противоположном направлении, но для удобства дальнейшего графического суммирования ординат движущей силы и сил инерции следует условно отрезки АС и ВD откладывать в противоположные стороны.

Соединяем точку Сс точкой D, получив точку пересечения прямой CD с осью абсцисс на рис. 2 точка E.

Из точки E опускаем перпендикуляр EF (рис. 2).

Прямые CF и FD разбиваем на произвольное количество равных участков и одноименные точки соединяем прямыми линиями. Затем проводим огибающую кривую касательную к отрезкам пересечения этих прямых. Это и будет кривая сил инерции поступательно движущихся частей рис. 2.

### 7.3 Построение диаграммы движущих сил

Давление газов на поршень в зависимости от его положения определяем по индикаторной диаграмме расчетного цикла Рис. Для удобства построения нормальной индикаторной диаграммы разворачиваем, как показано на рис.

Чертим атмосферную линию и на ней строим развернутую индикаторную диаграмму. Откладываем вниз от атмосферной линии силы веса поступательно движущихся частей (если они учитываются).

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01. МДК 01.01	С.44/80

Построение диаграммы движущих усилий сводится к простому наложению кривой сил инерции на развернутую индикаторную диаграмму см. рис. 3.

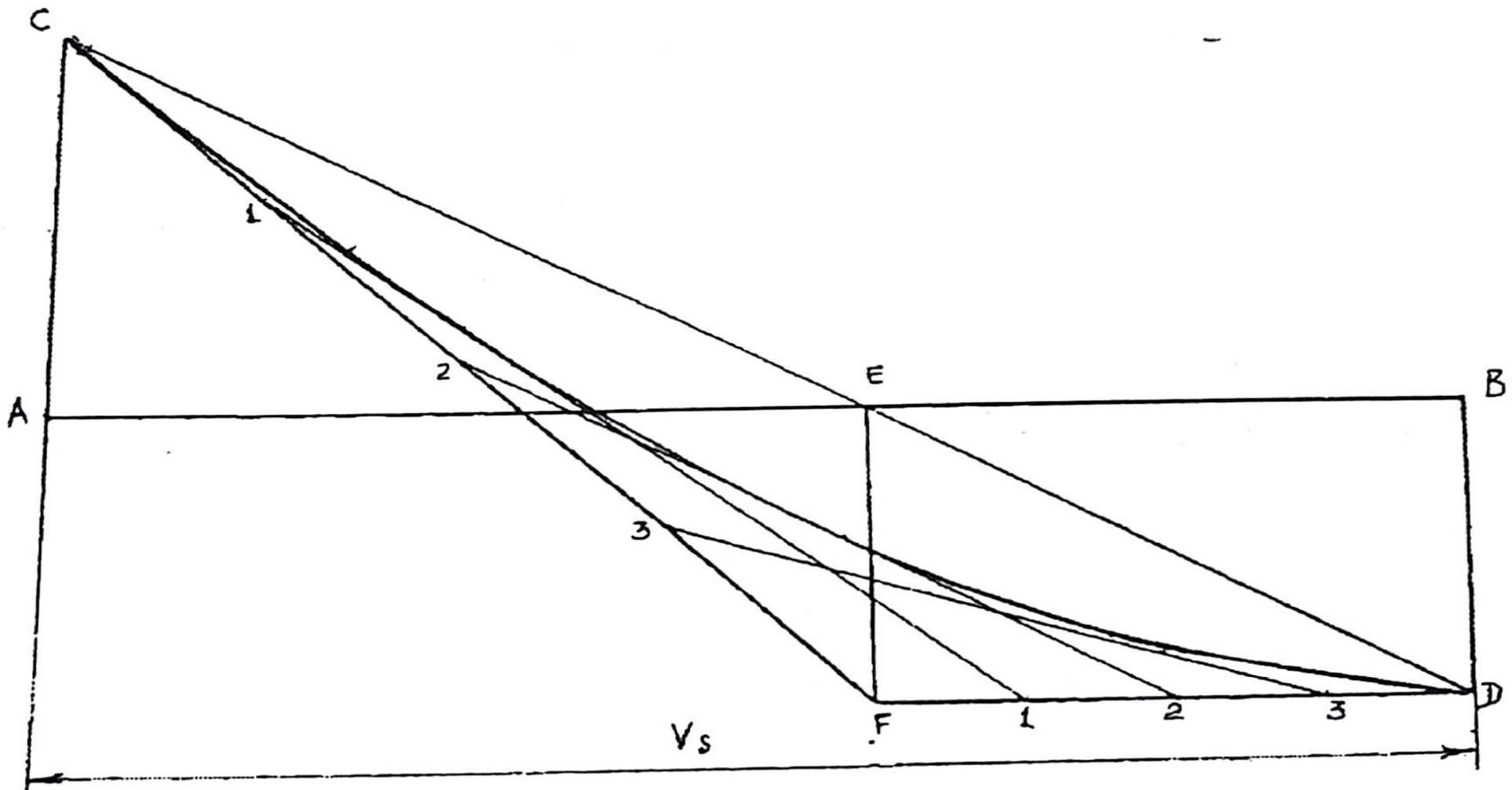
Наложение необходимо производить так, чтобы ордината АС всегда находилась в ВМТ, а ВD в НМТ. Точки А и точки В должны находиться на прямой сил веса  $P_v$  (если они учитываются). Если силы веса не значительны и ими пренебрегают, то точки А, В будут находиться на прямой  $P_0$  (атмосферное давление). Чтобы определить величину движущей силы в зависимости от угла поворота кривошипа коленчатого вала воспользуемся бицентральной диаграммой Брикса. Для этого на отрезке диаграммы движущих сил равному ходу поршня проводим полуокружность радиусом  $R$  (рис. 3). Из центра полуокружности точка О откладываем поправку Брикса в масштабе оси абсцисс

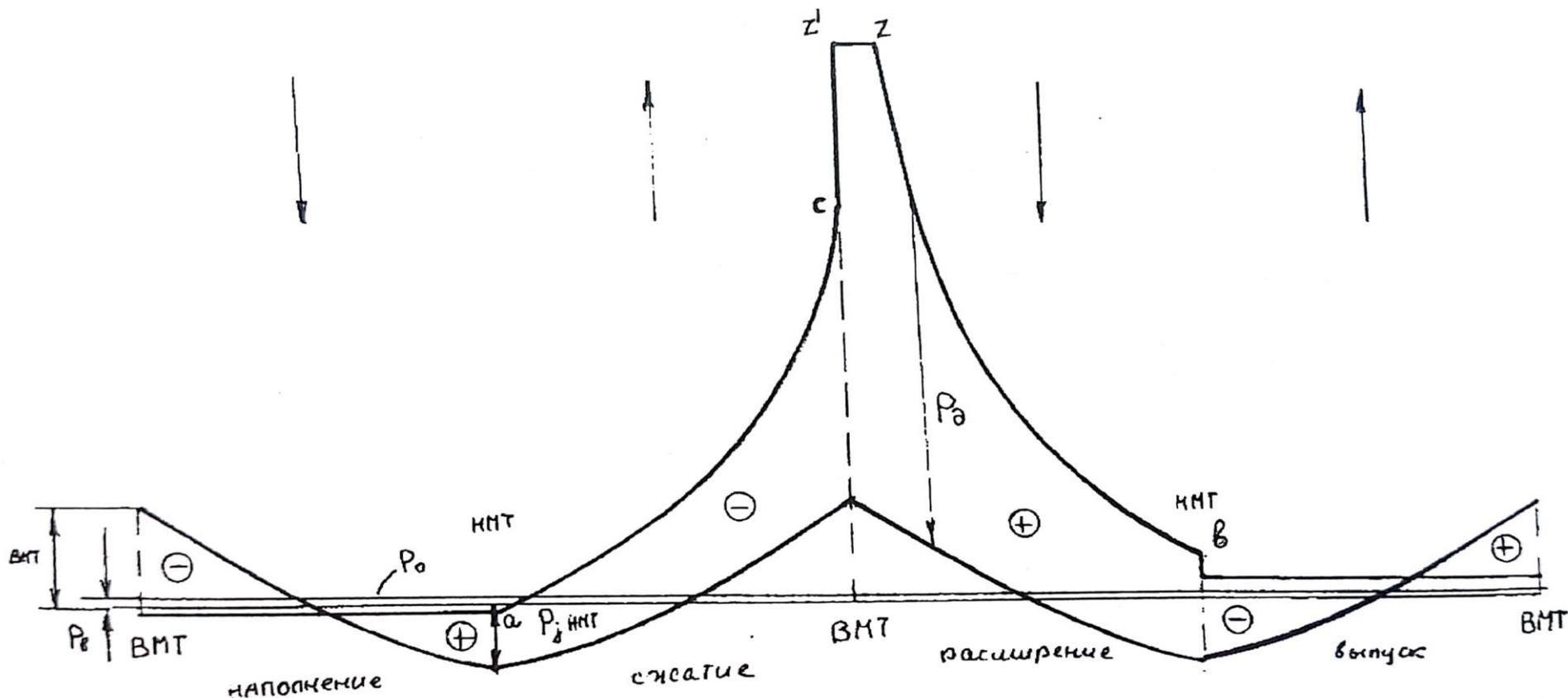
$R$  – радиус кривошипа (м)

$V_s$  – длина отрезка, соответствующая рабочему объему цилиндра (мм)

$S$  – ход поршня (м)

Поправка Брикса всегда откладывается от центра полуокружности О в сторону НМТ, т.е. на такте всасывания и расширения она будет направлена вправо, на такте сжатия и выпуска – влево.





Из точки О при помощи транспортира проводим лучи через каждые  $15^{\circ}$  до пресечения с полуокружностью. Из точек пересечения лучей с полуокружностью опускаем вниз перпендикуляры до пересечения кривых сил давления газов и кривой сил инерции. При любом значении угла поворота кривошипа коленчатого вала от  $0^{\circ}$  до  $720^{\circ}$  величина движущей силы будет определяться величиной вектора от сил давления газов до сил инерции поступательно движущихся частей, т.е. начало вектора всегда должно находиться на кривой сил давления газов, а конец на кривой сил инерции поступательно движущихся частей. Знак движущей силы определяется следующим образом:

Если направление вектора совпадает с направлением движения поршня, то движущая сила будет положительна и наоборот. Все построения производятся в том же масштабе по оси абсцисс и ординат, выбранного при построении индикаторной диаграммы. На рис. представлен порядок определения движущих усилий для 2-х тактов: наполнение, сжатие. На остальных построение будет таким же.

#### 7.4 Построение диаграммы касательных усилий для одного цилиндра в зависимости от угла поворота кривошипа коленчатого вала

Расчет и построение начинаем с выбора масштаба. Масштаб по оси ординат остается прежним, как и в предыдущих построениях, а масштаб по оси абсцисс целесообразно принять  $1^{\circ}_{\text{пкв}} = 1 \text{ мм}$ .

В этом случае длина диаграммы будет равна 720 мм и, кроме того, такой масштаб очень удобен при вычерчивании диаграммы на миллиметровой бумаге.

Величины ординат касательной силы  $T$   $1\text{ м}^2$  площади поршня определяется по формуле

$$T = P_{\partial} * \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \varphi} \text{ МН/м}^2, \text{ где:} \quad (55)$$

$\varphi$  – мгновенное значение поворота угла кривошипа

$\beta$  – угол между осью цилиндра и осью шатуна

$P_{\partial}$  – величина движущей силы при данном мгновенном значении угла

$\varphi^{\circ}$  – МН/м<sup>2</sup>

Указанное определение ординат  $T$  производится через каждые  $15^{\circ}_{\text{пкв}}$  от  $0^{\circ}$  до  $720^{\circ}$  с учетом знака движущей силы  $P_{\partial}$ .

Значение функции  $\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \varphi}$  для принятой величины  $\lambda$  с интервалом  $\varphi = 5^{\circ}_{\text{пкв}}$  можно взять из таблицы № 34 [19].

Подсчет ординат  $T$  удобно производить в табличной форме

Таблица 17

$\varphi^{\circ}$	$P_{\partial}(\text{мм})$	$\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \varphi}$	$T = P_{\partial} * \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \varphi} \text{ (мм)}$
$0^{\circ}$			
$15^{\circ}$			
$30^{\circ}$			
.			
.			
$705^{\circ}$			
$720^{\circ}$			

За один рабочий цикл касательная сила достигает один раз своего максимального значения. В 4-х тактных двигателях  $T_{\text{МАХ}}$  обычно имеет место при  $\varphi = (375 \div 390)^{\circ}_{\text{пкв}}$

Чтобы определить величину  $\varphi^0_{T=\max}$  и  $T_{\max}$  необходимо ввести подсчет ординат  $T$  через  $1^0$  в интервале  $\varphi^0 = (375 - 390)^0_{\text{ПКВ}}$

В этом случае пользоваться таблицей приложения нельзя, поэтому задаемся значениями  $\varphi^0$  в вышеуказанном интервале и определяем по формуле:

$$\beta = \arcsin(\lambda * \cos \varphi)$$

Значение  $\beta$  ( ), а затем вычисляем функцию  $\frac{\sin(\varphi+\beta)}{\cos \beta}$

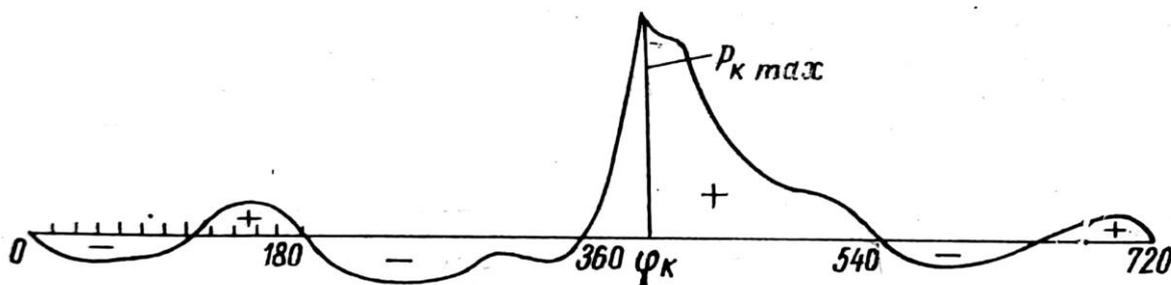
После определения  $T_{\max}$  и  $\varphi^0_{T=\max}$  подсчет ординат снова продолжаем  $15^0$ .

Таблица № 34 [19]

Значения  $\frac{\sin(\varphi+\beta)}{\cos \beta}$

$\varphi^0$	$\lambda$	$\frac{1}{3,5}$	$\frac{1}{3,6}$	$\frac{1}{3,7}$	$\frac{1}{3,8}$	$\frac{1}{3,9}$	$\frac{1}{4,0}$	$\frac{1}{4,1}$	$\frac{1}{4,2}$	$\frac{1}{4,3}$	$\frac{1}{4,4}$	$\frac{1}{4,5}$	Знак	$\varphi^0$
0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	360
5	+	0,111	0,111	0,111	0,110	0,109	0,109	0,108	0,108	0,107	....	....	-	355
10	+	0,222	0,221	0,220	0,219	0,217	0,216	0,215	0,214	0,213	0,213	....	-	350
15	+	0,330	0,328	0,326	0,324	0,323	0,322	0,320	0,318	0,317	...	0,316	-	345
20	+	0,434	0,432	0,429	0,427	0,425	0,423	0,421	0,419	0,417	0,415	....	-	340
25	+	0,532	0,530	0,527	0,524	0,521	0,519	0,516	0,514	0,512	....	....	-	335
30	+	0,625	0,621	0,618	0,615	0,612	0,609	0,606	0,604	0,598	0,599	0,596	-	330
35	+	0,710	0,706	0,702	0,699	0,695	0,692	0,689	0,686	0,684	....	....	-	325
40	+	0,786	0,782	0,778	0,774	0,771	0,767	0,764	0,761	0,758	0,756	...	-	320
45	+	0,853	0,849	0,845	0,841	0,837	0,834	0,831	0,828	0,825	....	0,819	-	315
50	+	0,910	0,906	0,902	0,898	0,895	0,891	0,888	0,885	0,882	0,880	....	-	310
55	+	0,957	0,953	0,943	0,946	0,942	0,939	0,936	0,933	0,930	....	....	-	305
60	+	0,994	0,990	0,986	0,983	0,980	0,977	0,974	0,971	0,96	0,966	0,964	-	300
65	+	1,020	1,016	1,013	1,010	1,007	1,004	1,002	0,999	0,997	....	....	-	295
70	+	1,035	1,032	1,029	1,027	1,025	1,022	1,020	1,018	1,016	1,015	...	-	290
75	+	1,040	1,038	1,036	1,034	1,032	1,030	1,029	1,027	1,025	....	1,023	-	285
80	+	1,036	1,034	1,033	1,031	1,030	1,029	1,028	1,026	1,025	1,025	....	-	280
85	+	1,022	1,021	1,021	1,020	1,019	1,018	1,018	1,017	1,016	....	....	-	275
90	+	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	270
95	+	0,970	0,971	0,972	0,972	0,973	0,974	0,974	0,975	0,975	....	....	-	265
100	+	0,934	0,935	0,937	0,938	0,939	0,941	0,942	0,943	0,944	0,945	....	-	260
105	+	0,892	0,894	0,896	0,898	0,898	0,902	0,903	0,905	0,906	...	0,910	-	255
110	+	0,844	0,847	0,849	0,852	0,855	0,857	0,859	0,861	0,863	0,865	....	-	250
115	+	0,793	0,796	0,799	0,802	0,805	0,808	0,810	0,813	0,815	....	....	-	245
120	+	0,738	0,742	0,746	0,749	0,752	0,755	0,758	0,761	0,763	0,766	0,767	-	240
125	+	0,681	0,685	0,689	0,692	0,696	0,699	0,702	0,705	0,708	....	....	-	235
130	+	0,622	0,626	0,630	0,634	0,637	0,641	0,644	0,646	0,649	0,653	....	-	230
135	+	0,561	0,564	0,569	0,573	0,577	0,580	0,583	0,586	0,589	....	0,595	-	225
140	+	0,499	0,504	0,508	0,511	0,515	0,518	0,521	0,524	0,527	0,530	....	-	220
145	+	0,437	0,441	0,445	0,448	0,492	0,455	0,458	0,461	0,464	....	....	-	215
150	+	0,375	0,378	0,382	0,385	0,388	0,391	0,393	0,396	0,396	0,401	0,404	-	210
155	+	0,312	0,315	0,318	0,321	0,324	0,326	0,329	0,331	0,333	....	....	-	205
160	+	0,250	0,252	0,255	0,257	0,259	0,261	0,263	0,265	0,267	0,269	....	-	200
165	+	0,187	0,189	0,191	0,193	0,195	0,196	0,198	0,199	0,201	....	0,203	-	195
170	+	0,125	0,126	0,127	0,128	0,130	0,131	0,132	0,133	0,134	0,135	....	-	190
175	+	0,062	0,063	0,064	0,064	0,065	0,065	0,066	0,066	0,067	....	....	-	185
180	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	180

Диаграмма касательных усилий для одного цилиндра четырехтактного двигателя представлена на рис. 3.



### 7.5 Построение суммарной диаграммы касательных усилий многоцилиндрового двигателя

Изменение касательного усилия многоцилиндрового двигателя представляется суммарной диаграммой касательных усилий, которая для всех цилиндров может быть построена путем суммирования ординат кривых касательных усилий от всех цилиндров, сдвинутых по отношению один к другому на угол заклинки кривошипов  $\varphi_0$ , который определяется по формуле:

$$\varphi_0 = \frac{720}{z} \tag{56}$$

$z$  – число цилиндров.

Указанное суммирование одноименных ординат удобно производить в табличной форме (см. таб. 18)

Для примера возьмем шестицилиндровый четырехтактный двигатель.

$$\varphi^0 = \frac{720}{6} = 120^{\circ}_{\text{пкв}}$$

Строим таблицу для углов заклинки кривошипов от 0 до  $120^{\circ}_{\text{пкв}}$ . Величины касательных усилий  $T$  для каждого цилиндра выбираем из Таблицы 18.

Таблица 18

$\varphi^0$	№ цилиндров						$\sum T_i$ (мм)
	1	2	3	4	5	6	
Величина $T$ (мм)							
0	$T_\varphi = 0^{\circ}$	$T_\varphi = 120^{\circ}$	$T_\varphi = 240^{\circ}$	$T_\varphi = 360^{\circ}$	$T_\varphi = 480^{\circ}$	$T_\varphi = 600^{\circ}$	$\sum_{i=1}^6 T$
15	$T_\varphi = 15^{\circ}$						
30	$T_\varphi = 30^{\circ}$						
105	$T_\varphi = 105^{\circ}$						
120	$T_\varphi = 120^{\circ}$	$T_\varphi = 240^{\circ}$	$T_\varphi = 360^{\circ}$	$T_\varphi = 480^{\circ}$	$T_\varphi = 600^{\circ}$	$T_\varphi = 720^{\circ}$	$\sum_{i=1}^6 T$

По данным таблицы 18 строим диаграмму  $\sum T_i = f(\varphi_0)$  см. рис. 13 [19].

Подсчитываем площадь диаграммы  $F_d$  мм<sup>2</sup>.

Определяем среднее касательное усилие по диаграмме суммарных касательных усилий

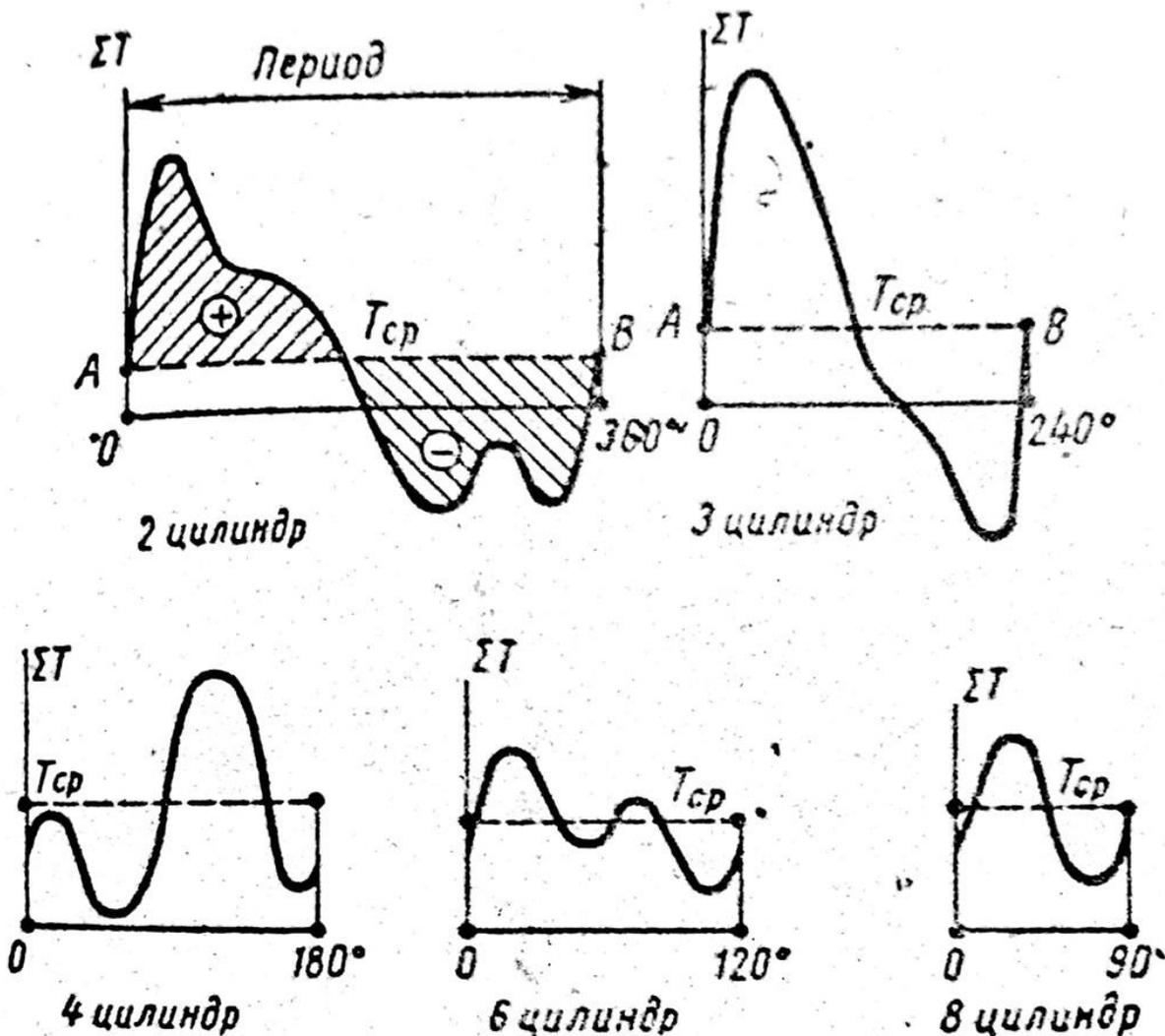
$$T_{ср} = \frac{F_d}{l_d + m_{орд}} \quad \text{где:} \quad (57)$$

$l_d$  – длина диаграммы (мм)

$$T_{Кср\tau} = \frac{P_i \cdot i \cdot Z}{\pi}$$

$$\Delta = \frac{T_{кт} - T_{кдср}}{T_{кт}} \cdot 100\% \leq 3\%$$

Рис. 13 [19]



## 7.6 Расчет маховика

### 7.6.1 Принимаем степень неравномерности вращения коленчатого вала

Принимаем:

$$\delta = \frac{1}{20} \div \frac{1}{40} \quad [3, \text{ с. 320}] \text{ для главных двигателей}$$

$$\delta = \frac{1}{100} \div \frac{1}{200} \quad [3, \text{ с. 320}] \text{ для ДГ – постоянного тока}$$

$$\delta = \frac{1}{250} \div \frac{1}{300} \quad [3, \text{ с. 320}] \text{ для ДГ – переменного тока}$$

### 7.6.2 Определяем масштаб площади диаграммы суммарных касательных сил

$$m_{\text{пл}} = \frac{1}{m_{\text{орд}}} \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot R \cdot \frac{\varphi}{l_d} \cdot \frac{\pi}{180}, \quad (59)$$

где:

$m_{\text{орд}}$  – масштаб

$\pi$  – число Пи равное 3,14;

$D^2$  – диаметр поршня;

Данные приведены в табл. 1

$R$  – радиуса кривошипа

$\varphi$  – угол заклинки между кривошипами коленчатого вала

$l_d$  – длина диаграммы [принимаем по прототипу].

### 7.6.3 Определяем избыточную площадь

$F_{\text{изб}}$

### 7.6.4 Определяем избыточную работу

$$A_{\text{изб}} = F_{\text{изб}} \cdot m_{\text{пл}} \quad \text{Дж}, \quad (60)$$

где:

$F_{\text{изб}}$  – избыточную площадь;

$m_{\text{пл}}$  – масштаб площади диаграммы суммарных касательных сил

[формула 59].

7.6.5 Определяем маховый момент маховика

$$GD^2 = 0,1 \cdot \frac{A_{изб}}{n^2 \cdot \delta} = \text{кг} \cdot \text{м}^2, \quad (61)$$

где:

$A_{изб}$  – избыточная работа [формула 60];

$n$  – частота вращения коленчатого вала;

Данные приведены в табл. 2

$\delta$  – степень последующего расширения [формула 24].

7.6.6 Принимаем диаметр обода маховика

$$D_{об} = (2 \div 3) \cdot S \text{ м}^2, \quad (62)$$

где:

$S$  – ход поршня.

Данные приведены в табл. 1

7.6.7 Определяем расчётную массу обода маховика

$$G_{рас} = \frac{GD^2}{D_{об}^2} \text{ кг}, \quad (63)$$

где:

$GD^2$  – маховый момент маховика [формула 61];

$D_{об}^2$  – диаметр обода маховика [формула 62].

7.6.8 Определяем фактическую массу обода маховика

$$G_{ф} = 0,7 \cdot G_{рас} \text{ кг}, \quad (64)$$

где:

$G_{рас}$  – расчётная масса обода маховика [формула 63].

7.6.9 Определяем полную массу обода маховика

$$G_{max} = (1,1 \div 1,4) \cdot G_{ф} \text{ кг}, \quad (65)$$

где:

$G_{ф}$  – фактическую массу обода маховика [формула 64].

7.5.10 Проверяем прочность маховика по окружной скорости

$$V_{окр} = \pi \cdot D_{об} \cdot n \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (66)$$

где:

$\pi$  – число Пи равное 3,14

$D_{об}$  – диаметр обода маховика [формула 62];

$n$  – частота вращения коленчатого вала;

Данные приведены в табл. 2

$V_{окр}=20:40$  м/с для чугуна

$V_{окр}=100:150$  м/с для стали

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.54/80

ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Форма F-8.5-0.3.04

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

Допущен к защите

Заведующим отделением

\_\_\_\_\_

должность руководителя учебного подразделения

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

МДК 01.01 Основы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта  
судового энергетического оборудования

\_\_\_\_\_

наименование профессионального модуля

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

Контроль основных параметров рабочего цикла

\_\_\_\_\_

тема работы

судового двигателя внутреннего сгорания

Пояснительная записка

КМРК 26.02.05

обозначение документа

Разработал обучающийся \_\_\_\_\_

шифр учебной группы

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

*Документ управляется программными средствами 1С: Колледж  
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Колледж*

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.55/80

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
**Калининградский морской рыбопромышленный колледж**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделением

\_\_\_\_\_

должность руководителя учебного подразделения

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ**

**Задание** на \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ курсовая работа

по \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ наименование профессионального модуля

выпускника \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_ учебной группы \_\_\_\_\_

специальности \_\_\_\_\_ 26.02.05. «эксплуатация судовых энергетических установок» \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ код, наименование специальности

Тема: \_\_\_\_\_ фамилия, имя, отчество выпускника

Исходные данные: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Содержание работы \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ вид документа: пояснительная записка, графические, технологические документы, отчет и др.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Титульный лист

Задание

Заглавный лист (при необходимости и его продолжение)

Введение \_\_\_\_\_ 1.2 с

1 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ название раздела теоритической части

1.1 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ название подраздела

1.2 \_\_\_\_\_

1.3 \_\_\_\_\_

1.4 \_\_\_\_\_

1.5 \_\_\_\_\_

1.6 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_



МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.57/80

ОБРАЗЕЦ ЗАПОЛНЕНИЯ

Форма F-8.5-01.12

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделением

наименование учебного отделения

  
подпись, дата

А. П. Страфилов  
инициалы, фамилия

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

по МДК 01.01 Основы эксплуатации технического обслуживания и ремонта СЭУ  
наименование профессионального модуля  
обучающегося III курса учебной группы 17-СМ-13  
номер учебной группы  
специальности 26.02.05 «Эксплуатация судовых энергетических установок»  
код, наименование специальности  
Гладышев Валентин Владимирович  
фамилия, имя, отчество

Тема: Контроль основных параметров рабочего цикла судового двигателя внутреннего сгорания  
Исходные данные: Двигатель 8ЧН 20/26, Ne = 883 кВт, n = 16,67 об/с, z = 8, марка топлива Л, С=87%, Н=12,4%, S=0,4 %, О=0,2%  
Содержание работы пояснительная записка  
вид документа: пояснительная записка, графические, технологические документы, отчет и др.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Титульный лист  
Задание  
Заглавный лист (при необходимости и его продолжение)  
Введение

1. Судовая дизельная установка судна
  - 1.1 Назначение и область применения двигателя
  - 1.2 Основные технические характеристики
  - 1.3 Описание двигателя
  - 1.4 Техническое обслуживание и эксплуатация ДВС
  - 1.5 Выбор исходных данных для расчета рабочего цикла

2 Тепловой расчет рабочего цикла ДВС

Содержание раздела	Шифр ОК и ПК	Показатели оценки результата
2.1 Расчет параметров наполнения рабочего цилиндра	ПК 1.1-1.2;	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес. Организовать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения проф. задач, оценивать их эффективность и качество.
2.2 Расчёт параметров процесса сжатия	ОК.1-	
2.3 Определяем количество молей воздуха, необходимого для сгорания одного килограмма топлива	ОК.5	
2.4 Расчёт параметров процесса сгорания	ПК 1.1-1.2;	
2.5 Расчет параметров процесса расширения	ОК.1-ОК.5	

Продолжение таблицы

Содержание раздела	Шифр ОК и ПК	Показатели оценки результата
2.6 Основные индикаторные и эффективные показатели цикла 2.7 Расчёт основных размеров цилиндра 2.8 Построение индикаторной диаграммы		Принимать решения в стандартных и не стандартных ситуациях и нести за них ответственность.

3 Динамический расчет

Содержание раздела	Шифр ОК и ПК	Показатели оценки результата
3.1 Построение диаграммы сил инерции по методу Толле 3.2 Построение диаграмм движущихся сил 3.3 Построение диаграммы касательной силы одного цилиндра 3.4 Построение диаграммы суммарных касательных сил 3.5 Расчет маховика	ПК 1.1-1.2; ОК.1-ОК.5	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения проф. задач, проф. и личного развития Использовать информационно-коммуникационные технологии в проф. деятельности

Графические документы \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Рекомендуемая литература

1. Миклос А.А., Чернявская Н.Г., Червяков С.П. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Учебник для мореходных училищ. Изд. 3-3, переработанное, дополненное. -СПб.:Судостроение, 2006. -683с
2. Куприянов В.Ф. Теория судовых двигателей внутреннего сгорания. -М.:Транспорт, 2005. -597с
5. Олейников Б.И. Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности. -М.:Агропромиздат, 2005. -711с.
6. Дизели. Справочник/Под ред.Ванштейдта В.А., Иванченко Н.Н., Коллерова Л.К.-СПб.:Машиностроение, 2005. -417с.
7. Справочник судового механика по теплотехнике/Под ред. Тимошенко А.П.-СПб.:Судостроение, 2006. -815с.
9. Тататар Д.Б. Судовые дизели. Теория рабочего процесса.-СПб.:Морской транспорт, 2012. -64с

Изменения по заданию

Не предусмотрены

Дата выдачи задания 12.09.19 Срок окончания работы 20.12.19Руководитель работы \_\_\_\_\_ Г. К. Либерис  
Инициалы, фамилия

Задание рассмотрено на цикловой комиссии \_\_\_\_\_ Судомеханических дисциплин

Протокол № 2 от 20.09.19Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_  
Инициалы, фамилия  
Курсант \_\_\_\_\_  
Инициалы, фамилия  
В. В. Гладышев

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.59/80

Форма F-8.5-01.13

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
**Калининградский морской рыбопромышленный колледж**

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_

должность руководителя учебного подразделения

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

## График

поэтапного выполнения \_\_\_\_\_ работы  
вид выполнения работы (курсовая, дипломная)

по профессиональному модулю \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

наименование профессионального модуля

\_\_\_\_\_

фамилия, имя, отчество обучающегося

специальность \_\_\_\_\_

код

курс \_\_\_\_\_

учебная группа \_\_\_\_\_

шифр группы

Этапы работы	Последовательность выполнения работы		Примерный объем выполняемого этапа в %	Срок выполнения	Отметка руководителя о выполнении работы
	пояснительная записка (разделы и подразделы)	графические документы			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
<i>Итого</i>					

Сдача руководителю работы на проверку и составление отзыва \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

дата

Руководитель работы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия





## ОБРАЗЕЦ ЗАПОЛНЕНИЯ

Форма F-7.5-01.10

Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

**Отзыв**

руководителя о качестве курсовой работы обучающегося

Гладышева Валентина Владимировича

фамилия, имя, отчество

специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок

код, наименование специальности

МДК 01.01 Основы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судового энергетического оборудования

наименование дисциплины (профессионального модуля)

Наименование темы курсовой работы Контроль основных параметров рабочего цикла судового двигателя внутреннего сгорания

Курсовая работа на указанную тему выполнена в полном объёме и соответствует Требованиям по оформлению технической документации и рекомендации методических пособий разработанных методическим отделом Калининградского Морского Рыбопромышленного Колледжа. Пояснительная записка состоит из 35 листов машинно-писного текста, графическая часть представлена в виде диаграммы теплового и динамического расчетов.

Курсовая работа представлена по выполнению задания исходя из содержания МДК 01.01

— «Контроль основных параметров рабочего цикла судового ДВС», профессионального модуля, Основы эксплуатации технического обслуживания и ремонта судового энергетического оборудования и освоения профессиональных (П.К.1.1, П.К.1.2, П.К.1.3) и общих (ОК.1, ОК.2, ОК.3, ОК.5) компетенций.

Свидетельство освоенных показателей оценки результата общих и профессиональных компетенций у обучающегося по содержанию курсовой работы в соответствии с заданием по заданным профессиональным компетенциям модуля.

В ведении точно определена проблема и тема курсовой работы и её практическая значимость, цели и задачи корректное использование, что соответствует ОК.1.

Структурно-содержательная целостность, цели и задание работы соответствует теме задания.

1 Судовая дизельная установка судна.

1.1 Назначение и область применения двигателя.

1.2 Основные технические характеристики

1.3 Описание двигателя

1.4 Техническое обслуживание и эксплуатации ДВС

1.5 Выбор исходных данных для решения

Практическая часть работы:

Выполнена с опорой на теоретические знания, полученные во время учебы, четко

## Содержание

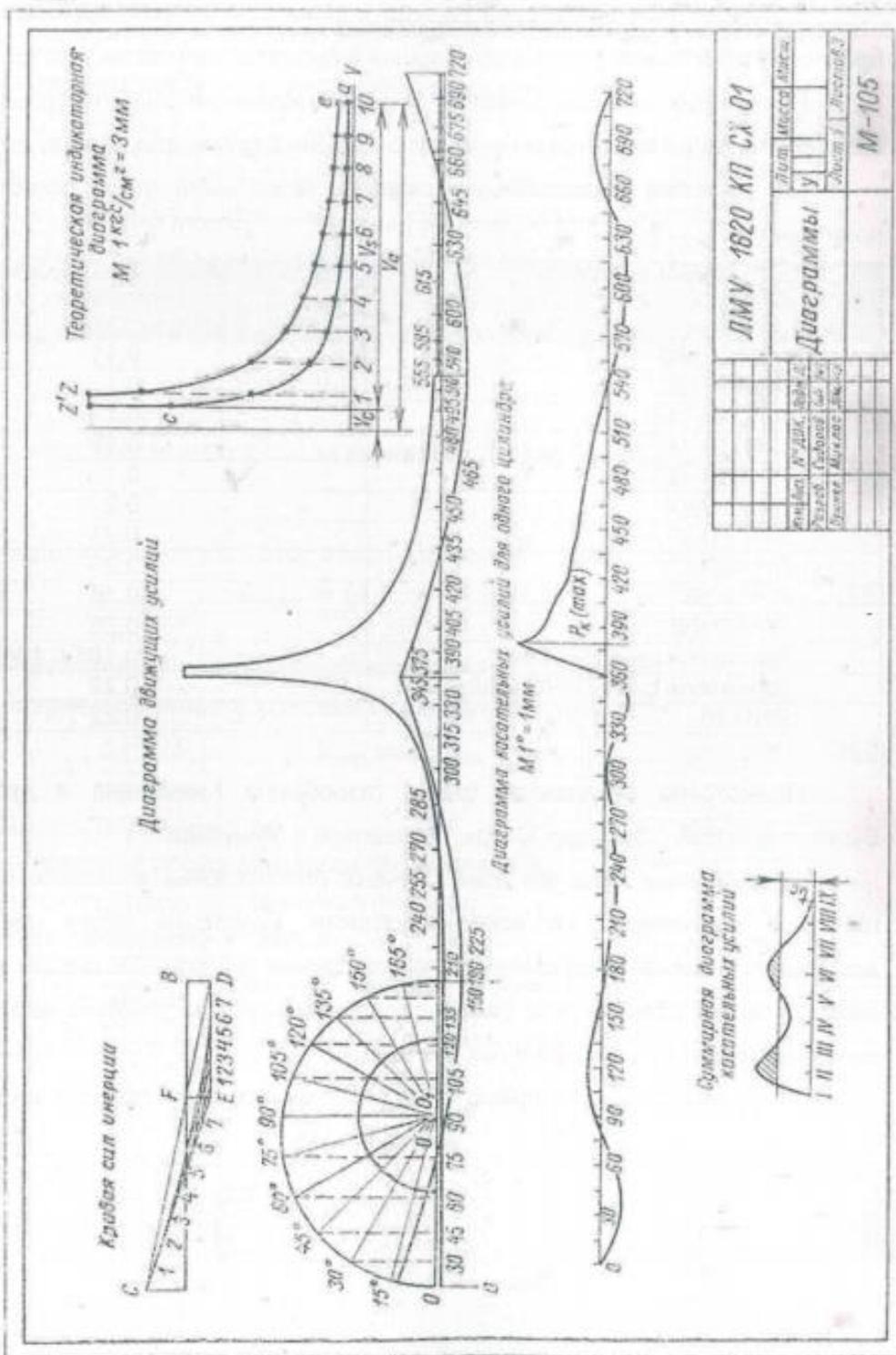
Введение	
1 Судовая дизельная установка судна.....	2
1.1 Назначение и область применения двигателя.....	2
1.2 Основные технические характеристики.....	2
1.3 Описание двигателя.....	3
1.4 Техническое обслуживание и эксплуатация ДВС.....	6
1.5 Выбор исходных данных для расчета рабочего цикла.....	10
2 Тепловой расчет рабочего цикла двигателя.....	11
2.1 Расчет параметров наполнения рабочего цилиндра.....	11
2.2 Расчет параметров процесса сжатия.....	12
2.3 Определяем количество молей воздуха, необходимого для сгорания одного килограмма топлива.....	13
2.4 Расчет параметров процесса сгорания.....	14
2.5 Расчет параметров процесса расширения.....	16
2.6 Основные индикаторные и эффективные показатели цикла....	18
2.7 Расчет основных размеров цилиндра.....	20
2.8 Построение индикаторной диаграммы.....	22
3. Динамический расчет.....	25
3.1 Построение диаграммы сил инерции по методу Толле.....	25
3.2 Построение диаграмм движущихся сил.....	26
3.3 Построение диаграммы касательной силы одного цилиндра...	27
3.4 Построение диаграммы суммарных касательных сил.....	29
3.5 Расчет маховика.....	30
4. Заключение.....	33
5. Список литературы.....	34

				<i>КМРК.26 02 05.055ПЗ</i>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Контроль основных параметров рабочего цикла судового двигателя внутреннего сгорания 8ЧН 20/26 Пояснительная записка	Литера	Лист	Листов	
Разраб.		<i>Гладышев В.В.</i>	<i>[Подпись]</i>			<i>9</i>		1	35
Пров.		<i>Либертис Г.К.</i>	<i>[Подпись]</i>	<i>22.12</i>					
Н. контр.			<i>[Подпись]</i>						
Утв.		<i>Стефанов А.Д.</i>	<i>[Подпись]</i>					<i>17-СМ-13</i>	

						КМРК-26-02-05 023.000ПЗ		Лист
Изм.	Колуч.	Лист	№док.	Подл.	Дата			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример оформления графической части курсовой работы  
и расчетно-пояснительной записки





## ПРИЛОЖЕНИЕ №3

**НАДДУВ ЧЕТЫРЕХТАКТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Наддувом называют способ повышения мощности дизеля, основанный на подаче в рабочий цилиндр воздуха под давлением выше атмосферного, и соответствующим увеличением цикловой подачи топлива.

ГТН впервые был применен в четырехтактных дизелях. Первый судовой четырехтактный дизель с ГТН был установлен на судно в 1928 году. Однако для перевода четырехтактных дизелей на ГТН показалось недостаточным установить на дизель турбокомпрессор и соединить его трубопроводом с ресивером наддувочного воздуха и выпускным коллектором. Рабочие процессы при совместной работе дизеля с турбокомпрессором вызвали необходимость изменений в топливоподаче, в конструкциях выпускных клапанов, выпускных трубопроводов и деталей ЦПГ, поэтому четырехтактный дизель с ГТН имеет особенности, которые отличают его от дизеля без наддува.

*Первая особенность* связана с увеличением при наддуве расхода воздуха и газов через впускные и выпускные клапаны. Для обеспечения этого при наддуве увеличивают углы опережения открытия и запаздывания закрытия клапанов, устанавливая в крышке цилиндра 4 клапана (2 впускных и 2 выпускных).

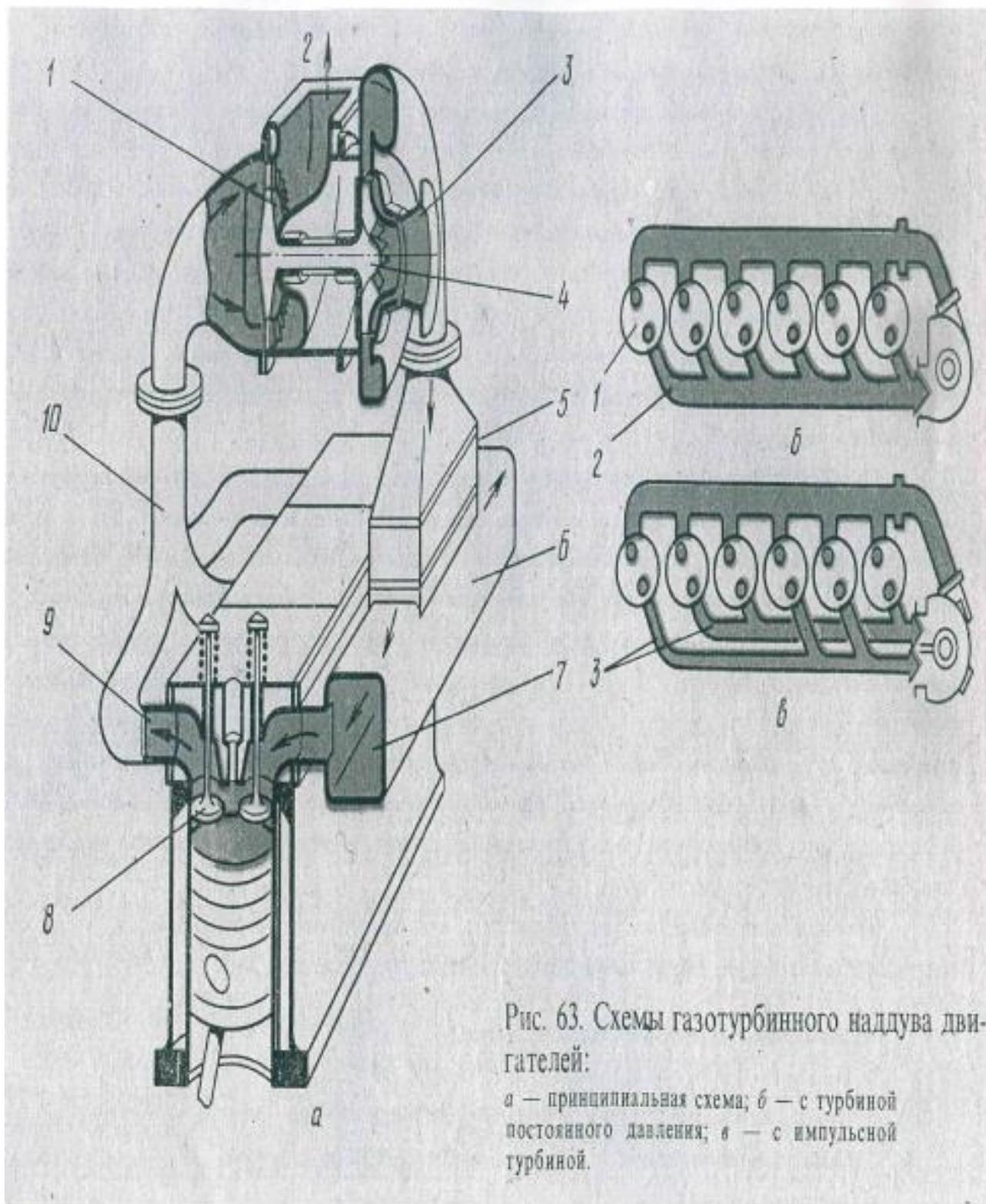
*Вторая особенность* заключается в существовании перепада между давлением наддувочного воздуха и давлением газа перед турбиной. Благодаря перепаду давления в период перекрытия клапанов обеспечивается продувка камеры сгорания, в результате чего уменьшается коэффициент остаточных газов до значений  $\gamma_g = 0,01 - 0,02$ . Это способствует повышению коэффициента наполнения и коэффициента избытка воздуха, улучшению качества сгорания топлива и снижению теплонапряженности двигателя.

*Третья особенность* заключается в возникновении необходимости подвода газов к турбине через отдельные выпускные трубопроводы.

**По величине давления воздуха наддув делят:**

- |                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| 1. Низкий наддув (умеренный) | $P_k = 0,13 - 0,15$ мПа. |
| 2. Средний наддув            | $P_k = 0,15 - 0,18$ мПа. |
| 3. Повышенный наддув         | $P_k = 0,18 - 0,22$ мПа. |
| 4. Высокий наддув            | $P_k > 0,22$ мПа.        |

Следует отметить, что в современных высокооборотных двигателях фирм «МАК», «Wartsila», «MAN B&W» давление наддува воздуха доходит до 0,45 мПа.

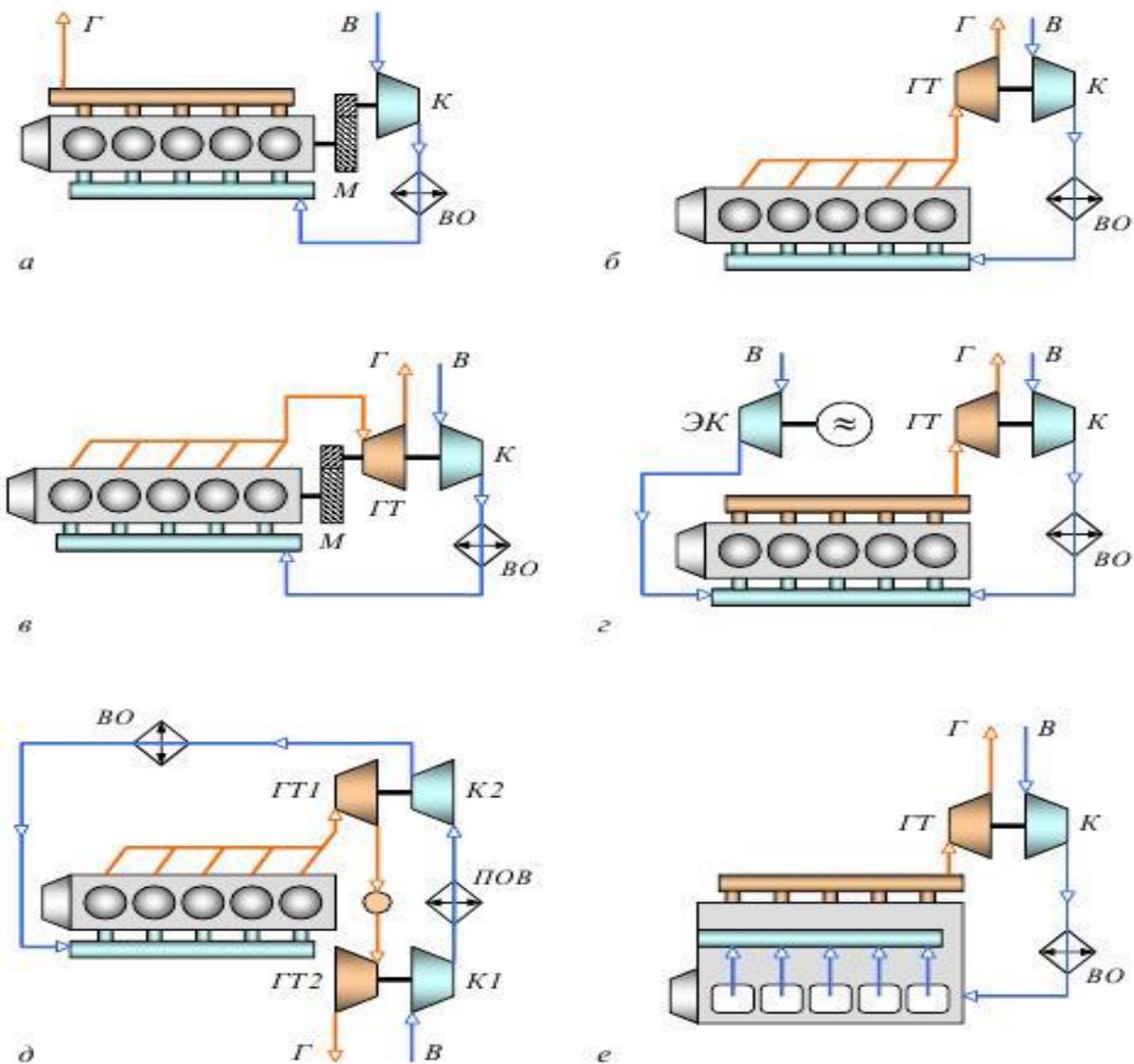


Таблица

Engine	Model	Air flow rate $V$ (m <sup>3</sup> /s)		Engine output $P$ (kW)	Max. pressure ratio $\Pi_{vmax}$	Efficiency $\eta$ (%) $\Pi=4,0$	Weight $m$ (kg)
		$\Pi=4,0$	$\Pi=4,5$				
Wartsila Hyundai	HPR3000	0,9-1,7	1,0-1,7	500-900	5,0	63	160
Wartsila	HPR4000	1,3-2,5	1,5-2,5	700-1300	5,0	64	226
SKL	HPR5000	1,9-3,6	2,1-3,6	1000-1900	5,0	66	354
МАК	HPR6000	2,7-5,2	2,9-5,2	1600-3000	5,0	68	550

В таблице представлены двигатели, на которые устанавливаются данные турбокомпрессоры.

Схемы наддува 4-х тактных ДВС



МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.70/80

В зависимости от типа привода нагнетателей воздуха наддув судовых дизелей принято подразделять на механический, газотурбинный и комбинированный. Рис. Компоновочные схемы дизельных двигателей с наддувом

а – механический наддув; б – газовый наддув с импульсной турбиной; в – комбинированный наддув; г – газовый наддув с изобарной турбиной; д – двухступенчатый комбинированный наддув; е – наддув с использованием подпоршневых полостей.

ГТ – газовая турбина; К – воздушный компрессор; ВО – воздухоохладитель; М – мультипликатор; ЭК – подкачивающий электрокомпрессор; В – забор воздуха из атмосферы; Г – выброс выхлопных газов.

В схемах наддува с механической связью (рис. а) компрессор приводится в действие непосредственно от коленчатого вала двигателя через мультипликатор. Основным недостатком схемы является то, что на привод компрессора затрачивается от 7 до 10% мощности, полученной в рабочих цилиндрах двигателя. Такая схема применяется в дизелях с низкой степенью наддува, а также в двухтактных дизелях без наддува.

Схема наддува с газовой связью (импульсная турбина) (рис. б). Продукты сгорания по коротким патрубкам направляются в импульсную газовую турбину. Недостатком по сравнению с механической схемой наддува является ухудшение пусковых качеств дизелей, так как в начальный момент пуска дизеля турбина не работает.

Схема наддува с комбинированной связью (рис. в). Турбоагрегат частично снимает мощность с коленчатого вала двигателя, а частично – с вала импульсной газовой турбины. На мощностях близких к номинальной, работа турбокомпрессора обеспечивается только за счет мощности, вырабатываемой газовой турбиной. Данная схема обеспечивает хорошие пусковые качества дизеля.

Схема с изобарным наддувом (рис. г). Отработавшие газы из цилиндров поступают в выпускной коллектор, где выравнивается поле скоростей и давлений. При работе на малых нагрузках турбокомпрессор не обеспечивает требуемый расход воздуха. На этих режимах дополнительно включаются в работу электроприводные компрессоры, специально установленные на дизеле.

Схема двухступенчатого комбинированного наддува (рис. д). Продукты сгорания от цилиндров дизеля сначала поступают на импульсную газовую турбину, а затем в выхлопной коллектор дизеля, где происходит выравнивание давления газов.

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.71/80

Из выхлопного коллектора продукты сгорания поступают на лопатки изобарной газовой турбины. Такие схемы используют при высокой степени наддува.

Схема наддува с использованием подпоршневых полостей (рис. а). В малооборотных дизелях в качестве приводного компрессора нередко используют подпоршневые полости цилиндров, где дополнительно сжимается

## ТЕМЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

## Вариант №1

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения $пс^{-1}$	Марка топлива	Примечания
001, 51	6ДКРН 74/160	7800	2	ДМ	Состав топлива
002, 52	6ЧН 40/48 6ZL 40/48	2647	8,67	ДТ	ДТ С=87,3% О=0,6% Н=11,5% S=0,6%
003, 53	8ДН 48/72 8ZD 48/72	2850	3,57	ДМ	ДМ С=86,8% О=0,7% Н=12,3% S=0,2%
004, 54	8ЧРН 30/38	1672	11,5	Л	Л С=87% О=0,4% Н=12,4% S=0,2%
005, 55	8ЧН20/26 8VD 20/26 AL-2	883	16,67	Л	
006, 56	6ДКРН 62/140 662-VTBF-140	4780	2,3	ДМ	
007, 57	8ЧРН 32/48 8NVD 48A-2U	971	7,13	Л	
008, 58	6ЧН 26/34	880	12,5	Л	
009, 59	6ЧРН 32/48 6NVD 48A-2U	736	7,13	Л	
010, 60	6ЧН 31,8/33	735	12,5	Л	
011, 61	8ДР 30/50	735	5,83	Л	
012, 62	6ЧРН 32/48 6NVD 48A-2U	589	5,75	Л	
013, 63	6ЧН 20/24 6AL 20/24	551	16,7	Л	
014, 64	6ДР 30/50	515	5	Л	
015, 65	8ЧН 25/34	440	8,33	Л	
016, 66	6ДКРН 70/120	3813	2,08	ДМ	
017, 67	8ЧН 32/48 8NDV 48	397	4,58	Л	
018, 68	8ЧРН 24/36 8NDV 36	424	8,33	Л	
019, 69	6Ч 23/30	330	16,7	Л	
020, 70	6ЧН 24/36 6NVD 36A-1	228	6,25	Л	
021, 71	8ЧН 18/26 8NVD 26A-2	294	12,5	Л	
022, 72	6ДКРН 74/160	6620	1,92	ДМ	
023, 73	6ЧН 40/46 6PC 2-3 L400	2362	8,67	ДТ	
024, 74	4ДР 30/50	294	5	Л	
025, 75	6Ч 23/30-1	243	12,5	Л	
026, 76	6Ч 25/34	220	8,33	Л	
027, 77	6ЧРН 18/26 6NVD 26A-3	287	16,67	Л	

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения $\text{пс}^{-1}$	Марка топлива	Примечания
028, 78	6ЧСП 12/14	66	25,0	Л	
029, 79	8ДКРН 70/120 K8Z 70/120 D	7060	2,25	ДМ	
030, 80	8ЧН 40/46 8РС 2-5 L400	3827	8,67	ДТ	
031, 81	6Ч 9,5/13	33	25,0	Л	
032, 82	6ЧСПН 15/18	173	25,0	Л	
033, 83	5ДКРН 50/110	2573	2,83	ДМ	
034, 84	6ЧСПН 18/22	294	12,5		
035, 85	6ЧН 20/24 6AL 20/24	441	12,5	Л	
036, 86	6ДКРН 45/120	3970	2,83	ДМ	
037, 87	6Ч 9,5/11	44	30,0	Л	
038, 88	6ЧСП 18/26 6NVD 26-2	147	12,5	Л	
039, 89	6ЧСПН 18/22	220	12,5	Л	
040, 90	8ЧР 26/36 8NVD 36	221	6	Л	
041, 91	6ЧСП 17,5/24 6NVD 24	110	12,5	Л	
042, 92	6ЧН 12/14	85	25	Л	
043, 93	8ДР 43/61	1472	4,17	ДТ	
044, 94	6ЧН 30/38	1100	12,5	Л	
045, 95	6ЧН 25/34	330	8,33	Л	
046, 96	4Ч 10,5/13	29,4	25	Л	
047, 97	4ЧСП 18/26 4NVD 26-2	78	10	Л	
048, 98	5ТД 56/100 5DP 56/100	1472	2,58	ДМ	
049, 99	6ЧСП 18/22	110	12,5	Л	
050, 100	6ЧН 25/40 С 256 ES	302	7,83	Л	
051, 101	6ЧН 18/22	195	12,5	Л	
052, 102	6ЧРН 32/48	551	6,25	Л	
053, 103	6ДКРН 74/160	5515	1,917	ДМ	
054, 104	4Ч 8,5/11	17,5	25	Л	

## Вариант №2

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения $\text{пс}^{-1}$	Марка топлива	Примечания
001,68	8ДКРН 70/120 K8Z 70/120 D	7060	2,25	ДМ	Состав топлива
002,69	8ЧН 40/46 8РС 2-5 L400	3827	8,67	ДТ	ДТ С=87,3% О=0,6% Н=11,5% S=0,6%
003,70	МАК 6 М34DF	3000	12	ДТ	ДМ С=86,8% О=0,7% Н=12,3% S=0,2%
004,71	8ЧРН 30/38	1672	11,5	Л	Л С=87% О=0,4% Н=12,4% S=0,2%
005,72	8ЧН20/26 8VD 20/26 AL-2	883	16,67	Л	
006,73	6ДКРН 62/140 662-VTBF-140	4780	2,3	ДМ	
007,74	8ЧРН 32/48 8NVD 48A-2U	971	7,13	Л	
008,75	МАК 8 М46DF	7200	8,34	ДТ	
009,76	6ЧРН 32/48 6NVD 48A-2U	736	7,13	Л	
010,77	6ЧН 31,8/33	735	12,5	Л	
011, 78	МАК 9 М34DF	4500	12	ДТ	
012, 79	6ЧРН 32/48 6NVD 48A-2U	551	16.7	Л	
013, 80	МАК 6 М20С	1020	15	ДТ	
014, 81	6ДР 30/50	515	5	Л	
015, 82	8ЧН 25/34	440	8,33	Л	
016, 83	МАК 7 М46DF	6300	8,34	ДТ	
017, 84	8ЧН 32/48 8NDV 48	397	4,58	Л	
018, 85	8ЧРН 24/36 8NDV 36	424	8,33	Л	
019, 86	МАК 8 М20С	1360	15	ДТ	
020, 87	6ЧН 24/36 6NVD 36A-1	228	6,25	Л	
021, 88	8ЧН 18/26 8NVD 26A-2	294	12,5	Л	
022, 89	МАК 6 М46DF	5400	8,34	ДТ	
023, 90	6ЧН 40/46 6РС 2-3 L400	2362	8,67	ДТ	
024, 91	4ДР 30/50	294	5	Л	
025, 92	МАК 9 М20С	1530	15	ДТ	
026, 93	МАК 9 М25Е	3150	12,5	ДТ	
027, 94	6ЧРН 18/26 6NVD 26A-3	287	16,67	Л	

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения $\text{пс}^{-1}$	Марка топлива	Примечания
028, 95	МАК 6 М25С	1740	12	ДТ	
029,96	6ДКРН 74/160	7800	2	ДМ	
030,97	6ЧН 40/48 6ZL 40/48	2647	8,67	ДТ	
031, 98	МАК 8 М43С	7200	8,33	ДТ	
032, 99	6ЧСПН 15/18	173	25,0	Л	
033, 100	МАК 8 М32Е	4400	10	ДТ	
034, 101	6ЧСПН 18/22	294	12,5	ДТ	
035, 102	МАК 8 М25С	2320	12	ДТ	
036, 103	6ДКРН 45/120	3970	2,83	ДМ	
037, 104	6Ч 9,5/11	44	30,0	Л	
038, 105	6ЧСП 18/26 6NVD 26-2	147	12,5	Л	
039, 106	6ЧСПН 18/22	220	12,5	Л	
040, 107	МАК 9 М25С	2610	12	ДТ	
041, 108	6ЧСП 17,5/24 6NVD 24	110	12,5	Л	
042, 109	МАК 6 М32С	2880	10	ДТ	
043, 110	8ДР 43/61	1472	4,17	ДТ	
044, 111	6ЧН 30/38	1100	12,5	Л	
045, 112	6ЧН 25/34	330	8,33	Л	
046, 113	МАК 8 М32С	3840	10	ДТ	
047, 114	4ЧСП 18/26 4NVD 26-2	78	10	Л	
048, 115	5ТД 56/100 5DP 56/100	1472	2,58	ДМ	
049, 116	6ЧСП 18/22	110	12,5	Л	
050, 117	МАК 9 М32С	4320	10	ДТ	
051, 118	6ЧН 18/22	195	12,5	Л	
052, 119	МАК 7 М43С	6300	8,34	ДТ	
053, 120	6ДКРН 74/160	5515	1,917	ДМ	
054, 121	МАК 6 М32Е	3300	10	ДТ	
055,122	5ДКРН 50/110	2573	2,83	ДМ	
056,123	МАК 9 М32Е	4950	10	ДТ	
057,124	8ДН 48/72 8ZD 48/72	2850	3,57	ДМ	
058,125	МАК 8 М34DF	4000	12	ДТ	
059,126	8ДР 30/50	735	5,83	Л	
060,127	МАК 6 М43С	5400	8,34	ДТ	
061,128	6ЧРН 32/48	551	6,25	Л	
062,129	6Ч 9,5/13	33	25,0	Л	
063,130	МАК 9 М43С	8100	8,34	ДТ	
064,131	6ДКРН 74/160	6620	1,92	ДМ	

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»		
	ПМ 01		С.76/80

065,132	6ДКРН 70/120	3813	2,08	ДМ	
066,133	6ЧН 26/34	880	12,5	Л	

## Вариант №3

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения $nc^{-1}$	Марка топлива	Примечания Состав топлива
001, 61	862VTBF 140 8ДКРН 62/140	5296	2,25	ДМ	Состав топлива
002, 62	8ЧРН 32/48 8NVD 48A-2U	971	7,13	Л	ДТ C=86,3% O=0,1% H=13,3% S=0,3%
003, 63	8ДН 48/72 8ZD 48/72	2850	3,57	ДМ	ДМ C=87,5% O=0,5% H=11,5% S=0,5%
004, 64	8ЧРН 30/38	1672	11,5	Л	Л C=87% O=0,4% H=12,4% S=0,2%
005, 65	8ЧН20/26 8VD 20/26 AL-2	883	16,67	Л	
006, 66	6ДКРН 62/140 662-VTBF-140	4780	2,3	ДМ	
007, 67	6ЧН 40/48 6ZL 40/48	2647	8,67	ДТ	
008, 58	МАС 6 M20С	1020	15	ДТ	
009, 69	6ЧРН 32/48 6NVD 48A-2U	736	7,13	Л	
010, 70	6ЧН 31,8/33	735	12,5	Л	
011, 71	8ДР 30/50	735	5,83	Л	
012, 72	6ЧРН 32/48 6NVD 48A-2U	589	5,75	Л	
013, 73	МАК 6 M25С	1740	12	ДТ	
014, 74	К9Z 70/120 E 9ДКРН 70/120 E	9261	2,25	ДМ	
015, 75	6ДКРН 74/160	7800	2	ДМ	
016, 76	6ДКРН 70/120	3813	2,08	ДМ	
017, 77	8ЧН 32/48 8NDV 48	397	4,58	Л	
018, 78	8ЧРН 24/36 8NDV 36	424	8,33	Л	
019, 79	МАК 6 M32С	2880	10	ДТ	
020, 80	950 VTBF 110 9ДКРН 50/110	3834	2,83	ДМ	
021, 81	8ЧН 18/26 8NVD 26A-2	294	12,5	Л	
022, 82	6ДКРН 74/160	6620	1,92	ДМ	
023, 83	6ЧН 40/46 6РС 2-3 L400	2362	8,67	ДТ	
024, 84	4ДР 30/50	294	10	Л	
025, 85	МАК 8 M20С	1360	12,5	ДТ	
026, 86	МАК 8 M25С	2640	12,5	ДТ	
027, 87	6ЧРН 18/26 6NVD 26A-3	287	16,67	Л	

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения пс <sup>-1</sup>	Марка топлива	Примечания Состав топлива
028, 88	8 84 VTBF 180 8ДКРН 84/180	10176	1,91	ДМ	
029, 89	8ДКРН 70/120 K8Z 70/120 D	7060	2,25	ДМ	
030, 90	8ЧН 40/46 8РС 2-5 L400	3827	8,67	ДТ	
031, 91	K9Z 57/80 E 9ДКРН 57/80	5292	3,75	ДМ	
032, 92	K8Z 70/120 C 8ДКРН 70/120	5352	2,16	ДМ	
033, 93	5ДКРН 50/110	2573	2,83	ДМ	
034, 94	6ЧСПН 18/22	294	12,5	Л	
035, 95	Wärtsila 20 6L20	1200	16,6	ДМ	
036, 96	6ДКРН 45/120	3970	2,83	ДМ	
037, 97	MAN L 21/31	1200	15	ДТ	
038, 98	962 VTBF 140 9ДКРН 62/140	5958	2,25	Л	
039, 99	K6Z 70/120 C 6ДКРН 70/120	4014	2,16	ДМ	
040, 100	Wärtsila 26 6L26	2040	16,6	ДМ	
041, 101	6ЧСП 17,5/24 6NVD 24	110	12,5	Л	
042, 102	6 62 VT2BF 140 6ДКРН 62/140	4806	2,25	ДМ	
043, 103	8ДР 43/61	1472	4,17	ДТ	
044, 104	6ЧН 30/38	1100	12,5	Л	
045, 105	6ЧН 25/34	330	8,33	Л	
046, 106	MAN L 16/24	540	16,6	ДТ	
047, 107	Wärtsila 32 6L32	3480	12,5	ДМ	
048, 108	5ТД 56/100 5DP 56/100	1472	2,58	ДМ	
049, 109	6 74 VT2BF160 6ДКРН 74/160	6618	1,91	ДМ	
050, 110	МАК 8 M20C	1360	16,6	ДМ	
051, 111	8 84 VT2BF 180 8ДКРН 84/180	12352	1,83	ДМ	
052, 112	6ЧРН 32/48	551	6,25	Л	
053, 113	6ДКРН 74/160	5515	1,917	ДМ	
054, 114	4Ч 8,5/11	17,5	25	Л	
055,115	MAN B&W 6L 48/60	6300	14,26	ДМ	
056,116	Caterpillar C 280-6	1730	25	ДМ	
057,117	Caterpillar C 280-8	2300	25	ДМ	
058,118	MAN B&W 8L 48/60	8400	8,56	ДМ	

МО – 26 02 05-МДК.01.01КР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ПМ 01	С.79/80

Номер варианта	Марка двигателя	Эффективная мощность кВт	Частота вращения $\text{пс}^{-1}$	Марка топлива	Примечания Состав топлива
059,119	Wärtsila 34 6L 34DF	3000	12,5	ДМ	
060,120	MAN 8L 27/31	1600	27,6	ДМ	

### Список использованных источников

1. Правила по охране труда на морских судах и судах внутреннего водного транспорта: приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 886н (ред. от 05.10.2021) (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61969). - Москва: КонсультантПлюс, 2021.

2. Аполлонский, С. М. Электрические машины и аппараты: учебное пособие / С. М. Аполлонский. - Москва: КноРус, 2024. - 387 с.: on-line. - (Среднее профессиональное образование).

3. Бодров, М. В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учебник / М. В. Бодров. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 228 on-line. - (Высшее образование).

4. Дайнего, Ю. Г. Анализ причин повреждений судовых технических средств: учебное пособие / Ю. Г. Дайнего. - Москва: ИНФРА-М, 2024. - 70 on-line. - (Среднее профессиональное образование).

5. Широков, В. В. Охрана труда : учебник / В. В. Широков. - 4-е изд. - Санкт-Петербург: Лань, 2023. - 376 on-line. - (Среднее профессиональное образование).

#### 3.2.2 Дополнительные источники

1. Кузнецов, В. В. Эксплуатация судовых энергетических установок. Системы охлаждения судовых дизельных энергетических установок : учебное пособие / В. В. Кузнецов, С. В. Максимов, С. И. Толстой. - Москва: ИНФРА-М, 2023. - 38 on-line. - (Профессиональное образование).

2. Соболенко, А. Н. Судовые энергетические установки [Текст]: дипломное проектирование / А. Н. Соболенко, Р. Р. Симашов. - М: Моркнига, 2015

3. Бразновский, Виктор Кришевич. Управление технической эксплуатацией судна [Электронный ресурс] : учебное пособие для курсантов спец. "Эксплуатация судовых энергетических установок" / В. К. Бразновский. - Калининград : БГАРФ, 2017

4. Дейнего, Ю. Г. Эксплуатация судовых механизмов и систем : практические советы и рекомендации; учебник по спец. "Эксплуатация судовых энергетических установок" / Ю. Г. Дейнего. - Москва : Моркнига, 2018