

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВС

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
и обеспечению самостоятельной подготовки студентов
по дисциплине «Судовые ДВС»

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 621.431.7-049.7:656.6(076.5)

ББК 39.455.5я73

К65

Р е ц е н з е н т :

А. Р. Аблаев - канд. техн. наук, доцент кафедры ЭМСС

Составители : Г.В. Гоголев, С.А. Первушин

К65 Контроль параметров рабочего процесса ДВС : методические указания к выполнению лабораторной работы и обеспечению самостоятельной подготовки студентов по дисциплине «Судовые ДВС» / Севастопольский государственный университет, Морской институт ; сост.: Г. В. Гоголев, С. А. Первушин. – Севастополь : СевГУ, 2021. – 24 с. – Текст : электронный.

Рассматриваются устройство и принцип работы основных средств теплотехнического контроля и правила эксплуатации этих приборов. Изучается порядок снятия параметров с работающего дизельного двигателя.

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

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

ПСК-7 – Основные принципы конструкции и работы механических систем, включая: 1. судовой дизель (Эксплуатация главных установок и вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления)

ПСК-9 – подготовка, эксплуатация, обнаружение неисправностей и меры, необходимые для предотвращения причинения повреждений механизмам и системам управления. (Эксплуатация главных установок и вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления).

УДК 621.431.7-049.7:656.6(076.5)

ББК 39.455.5я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы кафедрой ЭМСС морского института Севастопольского государственного университета в качестве методических указаний к выполнению лабораторных занятий по дисциплине «Судовые двигатели внутреннего сгорания» для студентов направления 26.05.06. – Эксплуатация судовых энергетических установок, протокол № 1 от 31 августа 2018 г.

© Гоголев Г.В., Первушин С.А., сост., 2021

© ФГАОУ ВО «Севастопольский

государственный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Цель работы	5
1. Описание механических приборов контроля рабочего процесса дизеля	5
1.1. Максиметры	5
1.2. Пиметры	7
1.3. Механические индикаторы	11
2. Электронные системы диагностики рабочего процесса	16
3. Электронные системы газового анализа	19
4. Порядок выполнения работы	21
5. Содержание отчета	22
6. Контрольные вопросы	22
Литература	23

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с ПТЭ для оценки распределения нагрузки по отдельным цилиндрам и общего технического состояния двигателя необходимо систематически проводить теплотехнический контроль рабочего процесса дизельного двигателя.

Необходимо с достаточной точностью определять основные параметры рабочего процесса (наибольшее давление сгорания, давление сжатия, среднего индикаторное давление, среднее давление по времени, температуры выпускных газов по цилиндрам, мощность), а также расход топлива и цилиндрического масла. Помимо штатных контрольно-измерительных приборов, установленных на двигателе, применяют специальные приборы: пиметры, максиметры, механические индикаторы.

ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является изучение устройства и принципа работы основных средств теплотехнического контроля, основных правил эксплуатации этих приборов и порядок снятия параметров с работающего дизеля.

1. ОПИСАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ

1.1. Максиметры

Максиметр предназначен для измерения максимального давления газов, а также давления сжатия в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания.

Максиметр состоит из двух основных узлов: манометра и клапанного приспособления, которое в сборе с манометром способно сохранять давление после отсоединения от камеры сгорания (невозвратный клапан).

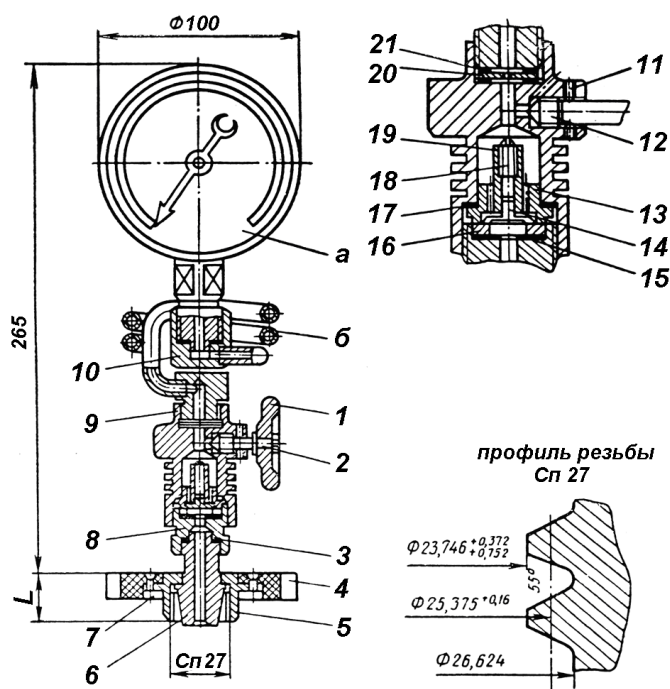


Рис. 1.1. Устройство максиметра:

- 1 – маховик; 2 – гайка; 3, 15, 17, 21 – прокладки; 4 – маховик; 5 – накидная гайка;
6 – наконечник; 7 – винт; 8 – переходник; 9 – корпус; 10 – втулка; 11 – винт;
12 – игла клапана; 13 – втулка обратного клапана; 14 – обратный клапан;
16 – седло клапана; 18 – винт регулировки хода клапана; 19 – контргайка;
20 – дроссель; а – манометр модели 1003; б – клапанное приспособление

Клапанное приспособление состоит (рис. 1.1) из обратного клапана 14, игольчатого клапана 12, служащего для сброса давления и выпуска газов из прибора после измерения; дросселя 20, обеспечивающего плавное повышение

давления при пульсирующем потоке измеряемого газа и уменьшающего колебания стрелки манометра, амортизирующей стальной трубки.

Максимальное давление в цилиндре двигателя измеряется следующим образом:

- продуть индикаторный кран;
- установить максиметр на индикаторный кран;
- закрыть игольчатый клапан 12,
- открыть индикаторный кран и через несколько секунд после его открытия и остановки стрелки на максимальном давлении произвести отсчет давления по шкале манометра (за максимальное давление принимается средняя величина, указываемая стрелкой при ее колебании);
- закрыть индикаторный кран и снять максиметр;
- открыть игольчатый клапан для спуска газов.

Рекомендации по применению:

– перед измерением проверить правильность установки прибора на индикаторном кране, убедиться в плотности посадки конуса и свободном навинчивании накидной гайки;

– при измерении прибор придерживать за соединительную трубку или манометр для устранения колебаний стрелки и порчи манометра от вибрации;

– не допускать, чтобы манометр, соединительная трубка и маховички нагревались до такой степени, когда для обращения с прибором требовались бы рукавицы или специальные ключи;

– точность показаний прибора в значительной мере зависит от его герметичности. Поэтому регулярно, после 20 - 30 замеров следует проверять герметичность прибора. Для этого после проведения замера прибор снять с индикаторного крана и отметить падение давления за 1 мин. Если давление падает не более чем на 40 % от первоначального, герметичность прибора считается удовлетворительной. Если герметичность неудовлетворительная, необходимо произвести притирку рабочей части поверхности обратного клапана 14, седла 16 и втулки 13, конуса иглы 12 клапана по конусу детали 9. При сборке прибора ход обратного клапана устанавливается в пределах 0,08...0,1 мм;

– запрещается промывать или проверять прибор в сборе маслом, так как притертые поверхности клапана, седла и втулки загрязняются и обгорают, сокращая межремонтные сроки прибора. После сборки прибор можно опрессовывать воздухом под давлением, равным верхнему значению шкалы. Возможные неисправности прибора и способы их устранения представлены в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 1.1

Возможные неисправности максиметра

Характер неисправности	Причина	Способ Устранения
Соединительная трубка сильно нагревается	Пропуск газа в месте присоединения манометра	Устранить пропуск газа – заменить прокладку или затянуть манометр
Стрелка манометра при замере сильно колеблется: герметичность неудовлетворительная	Пропуск газа у спускного вентиля Пропуск газа обратным клапаном Неплотно затянуто седло обратного клапана Пропуск газа у штуцера соединительной трубки и корпуса максиметра	Притереть конус спускного вентиля или клапан, седло и втулку
При замере давления стрелка неподвижна; при открывании спускного вентиля из прибора выходит газ	Засорилось отверстие в дросселе	Отвернуть соединительную трубку и прочистить отверстие в дросселе
При замере давления стрелка манометра неподвижна: при открывании спускного вентиля газ из прибора не выходит	Пригорел и не пропускает газ обратный клапан	Разобрать прибор, промыть, притереть на плите клапан, седло и втулку
Точность показаний максиметра вызывает сомнения. Показания разнятся с контрольным максиметром более чем на 0,3..0,8 МПа Герметичность прибора удовлетворительная	Вышел из строя манометр	Заменить манометр

1.2. Пиметры

Индикаторы среднего давления по времени – пиметры, которые предназначены для контроля уровня нагрузки двигателей внутреннего сгорания, а также для регулирования их на равномерное распределение мощности по цилиндрам. Существуют два типа пиметров: капиллярный и инерционный.

1.2.1. Капиллярный пиметр П-3

Прибор имеет следующие основные характеристики:

– пределы измерения, отсчитываемые по манометру, – 0,6; 1,0; 1,6; 2,5 МПа;

- относительная допустимая погрешность показаний по всей шкале не превышает $\pm 1,5 \%$ от максимального значения шкалы;
- минимальная частота вращения двигателя 100 мин^{-1} ;
- масса прибора 9,5 кг.

Схема устройства пиметра показана на рис. 1.2. Газы под давлением из цилиндра двигателя поступают через узел подключения 1, устанавливаемый на индикаторный кран, фильтр 2 и дополнительный капилляр 3 в основной капилляр 5 прибора и далее в манометр 4.

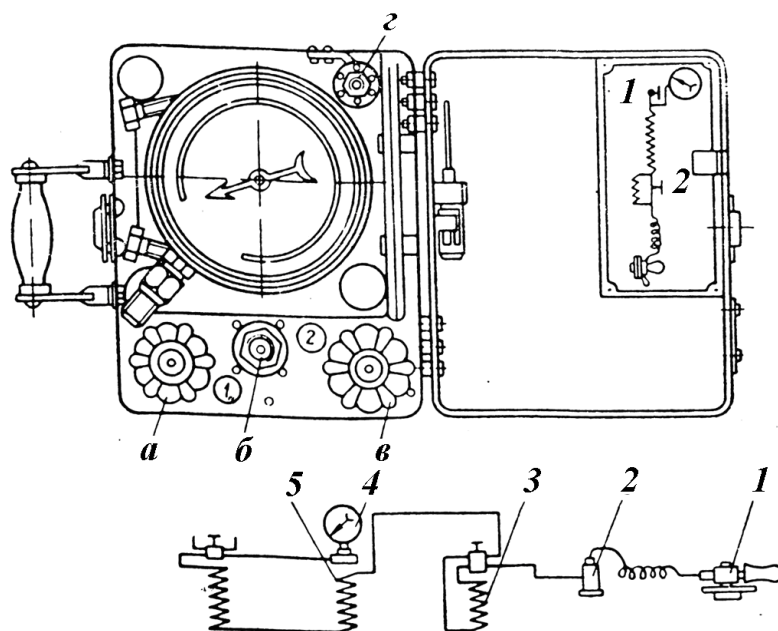


Рис. 1.2. Внешний вид и схема действия капиллярного пиметра типа П-3:

а – вентиль выпуска в атмосферу; б – приспособление манометра;
в – вентиль дополнительного капилляра; г – присоединение переносного капилляра, фильтр

Основной капилляр является гасителем колебаний давления, которые развиваются при работе двигателя. В результате стрелка манометра показывает среднее по времени давление.

Для получения минимальной частоты свободных колебаний стрелки в прибор введен дополнительный капилляр, который должен быть включен в работу при частоте вращения вала двигателя ниже 250 мин^{-1} .

Все перечисленные узлы прибора смонтированы или укладываются в специальный футляр.

Рекомендации по применению:

- перед измерением проверить правильность установки узла подключения прибора на индикаторные краны;
- убедиться в плотности посадки конуса и свободном навинчивании накидной гайки;
- для обеспечения удобства пользования прибором на двигателях, имеющих затрудненный доступ к индикаторным кранам, изготавливается переход-

ное устройство (рис. 1.3), состоящее из удлиненной накидной гайки с текстолитовым маховиком и конуса с резьбой для подсоединения переносного капилляра прибора;

- точность показаний прибора значительно зависит от плотности всех соединений, поэтому перед проведением измерений надо убедиться в наличии соответствующих прокладок во всех соединениях, при необходимости притереть игольчатый клапан выпуска в атмосферу;

- при работе не допускается перегревание прибора.

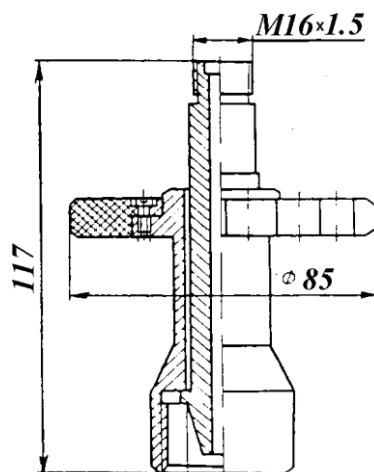


Рис. 1.3. Устройство для подсоединения капиллярного пиметра к двигателям, имеющим затруднительный доступ к индикаторным кранам

Для этого необходимо открывать индикаторный кран только перед получением отсчета по прибору; не рекомендуется производить замеры длительно-стью более 5 мин; периодически, через 50 - 100 замеров очищать и промывать фильтр; также через 50 - 100 замеров необходимо продувать всю систему как газами от двигателя, так и воздухом давлением 0,5...0,6 МПа, для чего открыть кран выпуска в атмосферу.

Возможные неисправности прибора и способы их устранения

Засорение капилляра, загрязнение фильтра можно обнаружить путем подачи в систему воздуха под давлением, равным верхнему пределу измерения манометра МТК-49. Если при этом стрелка манометра не реагирует или показывает заниженное давление, нужно продуть капилляр и промыть фильтр. Причиной спада давления в манометре может быть неплотность соединений. В этом случае необходимо подтянуть гайки крепления или сменить прокладки. Резкое снижение давления в манометре означает возможность обрыва капилляра. В этом случае необходимо устранить обрыв.

Манометр прибора проверять не реже двух раз в год.

1.2.2. Инерционный пиметр П-2

Пиметр имеет следующие основные характеристики, представленные в табл. 1.2. Пределы измерения 0...0,52; 0,5...1,0 МПа (пружина без установочной шайбы и пружина с шайбой соответственно); пиметр П-2 может иметь три пружины, которые применяют с шайбой или без нее (табл. 1.2).

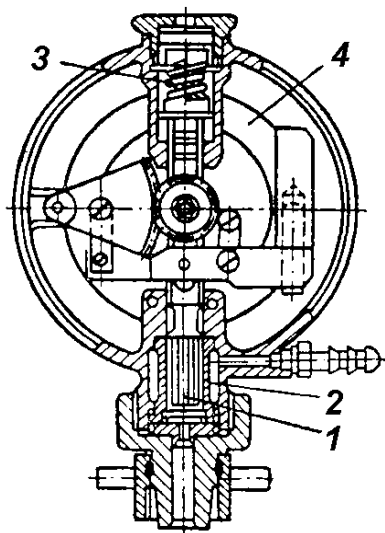


Рис. 1.4. Конструкция инерционного пиметра типа «Гейгер»:
1 – поршень; 2 – цилиндр;
3 – пружина; 4 – маховик

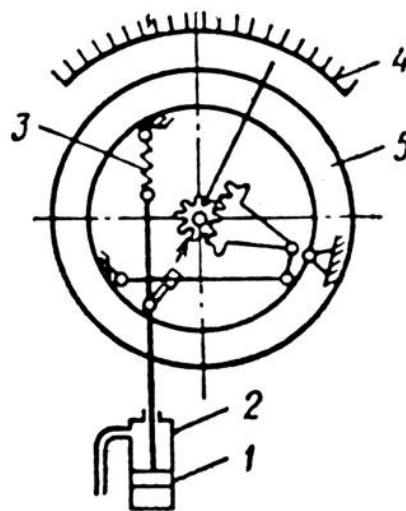


Рис. 1.5. Схема инерционного пиметра:
1 – поршень; 2 – цилиндр;
3 – пружина; 4 – шкала; 5 – маховик

Нижний предел частоты вращения коленчатого вала для пиметра П – 2...100 мин⁻¹. При использовании пиметра для регулировки машин с частотой вращения ниже 300 мин⁻¹ в маховую массу вливается 1 см³ вязкого дизельного масла, снижающего колебания стрелки.

Верхний предел частоты вращения неограничен.

Т а б л и ц а 1.2

Основные характеристики пиметра

Номер пружины	Пределы измерения давления, МПа	
	Пружина с шайбой	Пружина без шайбы
½	0,13...0,26	0...0,13
1	0,26...0,52	0...0,26
2	0,52...1,04	0...0,52

Конструкция пиметра представлена на рис. 1.4, а его схема показана на рис. 1.5. Колебания давления газов в цилиндре 2, действующие на поршень 1

пиметра, воспринимает и успокаивает масса маховика 5, так что поршень устанавливается в положение, соответствующее среднему давлению по времени за полный цикл. Это среднее давление уравнивается пружиной 3. Соотношение между полученным средним давлением по времени P_t и средним индикаторным давлением P_i определяется по диаграмме (рис. 1.6). На приведенной диаграмме изображены кривые для некоторых типов двигателей. Каждая кривая получена на основании обработки индикаторных диаграмм при различных нагрузках.

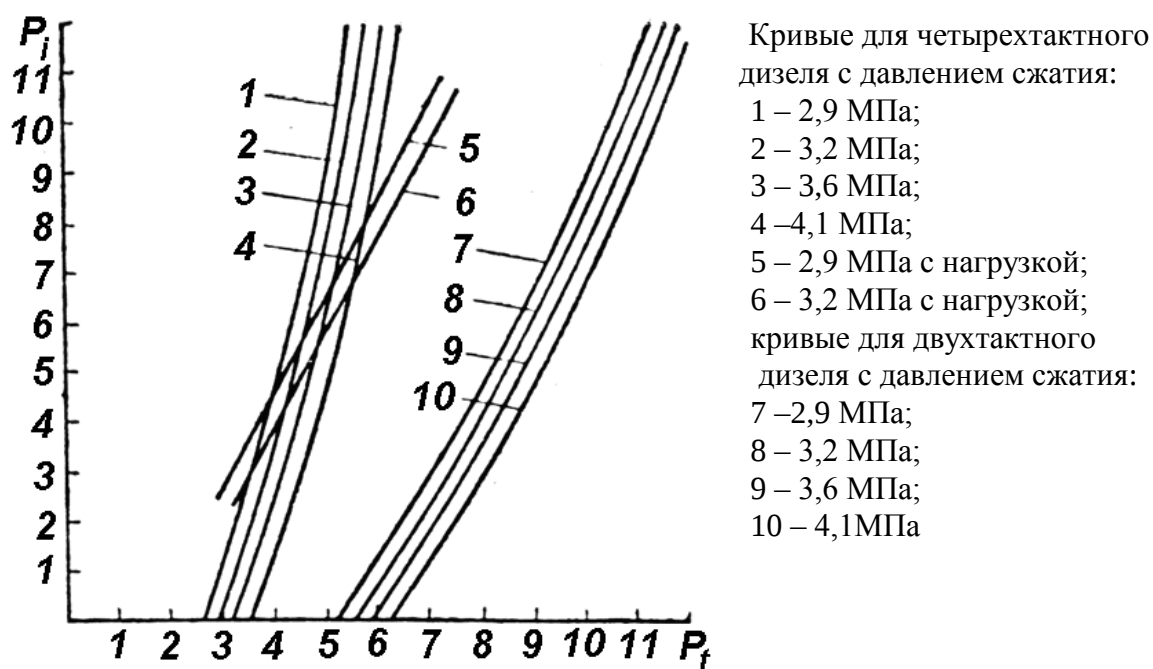


Рис. 1.6. Соотношение между P_i и P_t для некоторых типов двигателей

1.3. Механические индикаторы

Индикатор выполняется в комплекте со следующими инструментами и принадлежностями: индикатор с нормальной барабанной пружиной; пружина; цилиндр с поршнем и штангой; линейка масштабная для пружин; коробка с четырьмя пишущими штифтами; крючок для натяжки шнура; пачка диаграммной бумаги; моток шнура; барабанная пружина запасная; полый ключ; ключ для цилиндра; отвертка; чистилка для цилиндра; бутылочка с маслом; инструкция по обслуживанию.

1.3.1. Механические индикаторы с винтовой пружиной

Такие индикаторы применяются для индицирования цилиндров мало- и среднеоборотных двигателей. В механических индикаторах в качестве основного чувствительного элемента используется поршневая пара, в полость которой через индикаторный кран поступают газы под давлением, создаваемым в цилиндре двигателя. С другой стороны на поршень устройства действует вин-

товая пружина определенной жесткости. Конструкция устройства представлена на рис. 1.7.

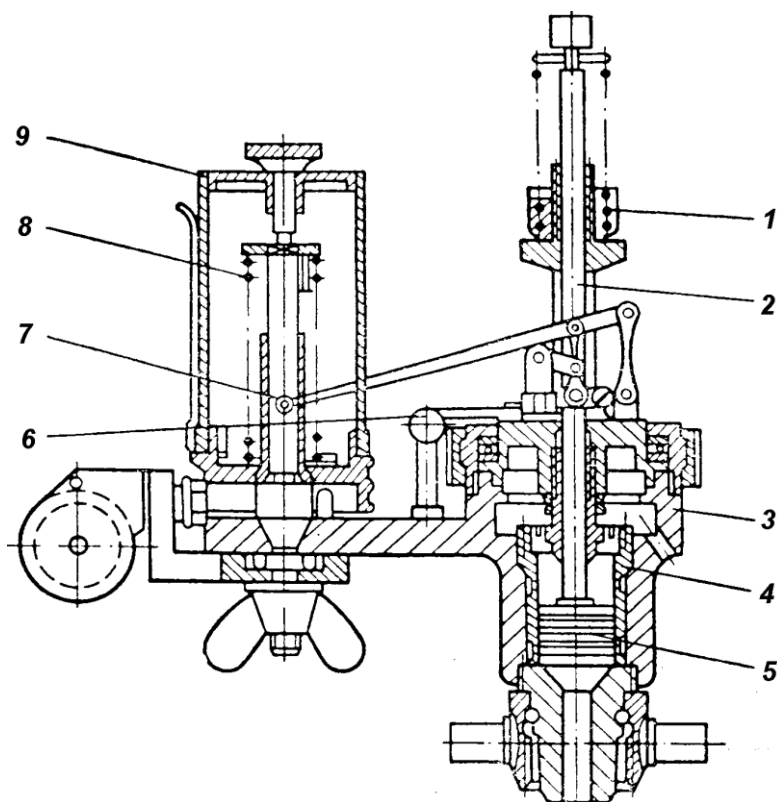


Рис. 1.7. Конструкция механического индикатора со спиральной пружиной типа 50:

1 – пружина; 2 – шток; 3 – основание; 4 – цилиндр; 5 – поршень;
6 – рукоятка; 7 – пишущий штифт; 8 – пружина барабана; 9 – барабан

Т а б л и ц а 1.3

Технические характеристики механических индикаторов со спиральными пружинами типа 50 и 30

Характеристика	Тип 50	Тип 30
Максимальное давление в цилиндре, МПа	30	40
Допустимая частота вращения индицируемой машины, об/мин		
минимальная	-	-
максимальная	500	1000
Высота индикаторной диаграммы, мм	50	30
Длина индикаторной диаграммы, при диаметре барабана, мм		
40	90	-
50	120	-
30	-	70

Индикатор типа 30 отличается от индикатора типа 50 соответственно меньшими размерами.

Во втулке индикатора, выполняющей функции цилиндра 4, перемещается плотно пригнанный поршень 5 со штоком 2. Движению поршня вверх препятствует спиральная пружина 1, в которую упирается шток. Последний связан с пишущей частью прибора системой рычагов так, что при перемещении поршня индикатора пишущий штифт 7 чертит вертикальные прямые на листе мелованной бумаги, которую надевают на барабан 9, укрепленный на основании 3. Рычаг, несущий пишущий штифт, может быть придвинут к барабану или отодвинут от него рукояткой 6. Барабан 9 поворачивается вокруг своей оси в одну сторону под действием шнура, один конец которого навит на нижнюю часть барабана, а второй прикрепляется к индикаторному приводу двигателя; в другую сторону барабан возвращается под действием пружины 8, расположенной внутри него. Индикатор комплектуется набором поршеньков и соответствующих втулок, выбор которых определяется максимальным давлением в индицируемом цилиндре. Нормальным поршеньком диаметром 20,27 мм с соответствующей пружиной индицируются процессы всасывания, выпуска и продувки в двигателях. При индицировании дизелей обычно применяется поршеньек диаметром 9,06 мм.

Выбор индикаторных пружин производится в зависимости от максимального давления в цилиндре дизеля. На головке каждой пружины проставлен номер, соответствующий ее масштабу для нормального поршенька диаметром 20,27 мм. Определение масштаба пружин для других поршеньков, а также максимального давления, при котором можно использовать данные пружины, производится по специальным таблицам 2 и 3, прикрепленным к внутренней стороне крышки ящика индикатора. В верхней строке этих таблиц дан масштаб пружины для нормального поршенька, ниже в строке указано допустимое максимальное давление для данных пружин. Выбор нужной пружины, например, для индикатора типа 50, производится следующим образом. Пусть максимальное давление цикла в цилиндре двигателя составляет 60 кгс/м^2 (6 МПа). Выбираем поршень диаметром 9,06 мм. Учитывая возможное превышение максимального давления цикла, выбираем по таблице 2 пружину с максимальным давлением 80 кгс/м^2 (8 МПа) и масштабом ($0,6 \text{ мм/кг/см}^2$) $0,06 \text{ мм/МПа}$. Номер этой пружины (в данном случае № 3) читаем в верхней строке столбца. Нужный номер пружины можно также получить умножением выбранного масштаба на отношение площадей нормального поршенька и поршенька диаметром 9,06 мм, которое составляет $5/1$. Произведение масштаба на отношение площадей в данном случае составляет $0,6 \cdot 5 = 3$. Это и есть номер нужной пружины.

Т а б л и ц а 1.4

Технические характеристики пружин для индикаторов

Поршни		Пружины для индикатора типа 30											
Обозначения	Диаметр, мм												
2/1	28,67	40 0,25	30 0,5	20 1	12 2	10 3	6 5	5 6	4 7	3 10	2,4 12	2 15	1,4 20
1/1	20,27	<u>20</u> 0,5	<u>15</u> 1	<u>10</u> 2	<u>6</u> 4	<u>5</u> 6	<u>3</u> 10	<u>2,5</u> 12	<u>2</u> 15	<u>1,5</u> 20	<u>1,2</u> 25	<u>1</u> 30	<u>0,7</u> 40
½	14,35	10 1	7,5 2	5 4	3 8	2,5 12	1,5 20	1,25 24	1 30	0,75 40	0,6 50	0,5 60	0,35 80
1/5	9,06	4 2,5	3 5	2 10	1,2 20	1 30	0,6 50	0,5 60	0,4 75	0,3 100	0,24 125	0,2 150	0,14 200
1/10	6,41	2 5	1,5 10	1 20	0,6 40	0,5 60	0,3 100	0,25 120	0,2 150	0,15 200	0,12 250	0,1 300	0,07 400
Обозначения	Диаметр, мм	Пружины для индикатора типа 50											
1/1	20,27	<u>30</u> 0,5	<u>25</u> 1	<u>16</u> 2	<u>10</u> 4	<u>7</u> 6	<u>6</u> 8	<u>5</u> 10	<u>4</u> 12	<u>3</u> 16	<u>2,5</u> 20	<u>2</u> 25	<u>1,5</u> 30
½	14,35	15 1	12,5 2	8 4	5 8	3,5 12	3 16	2,5 20	2 24	1,5 32	1,25 40	1 50	0,75 60
1/5	9,06	6 2,5	5 5	3,2 10	2 20	1,4 30	1,2 40	1 50	0,8 60	0,6 80	0,5 100	0,4 125	0,3 150
1/10	6,41	3 5	2,5 10	1,6 20	1 40	0,7 60	0,6 80	0,5 100	0,4 120	0,3 160	0,25 200	0,2 250	0,15 300

1.3.2. Механические индикаторы со стержневой пружиной

Механические индикаторы со стержневой пружиной применяются для индицирования быстроходных двигателей. Основным чувствительным элементом этого устройства также является поршневая пара. Давление, подаваемое к этой паре через индикаторный кран, уравнивается стержневой пружиной. Конструкция индикатора МИ-1 показана на рисунке 1.8. Индикатор МИ-2 имеет увеличенные по сравнению с МИ-1 размеры барабана, а также различия в конструкции пишущего механизма.

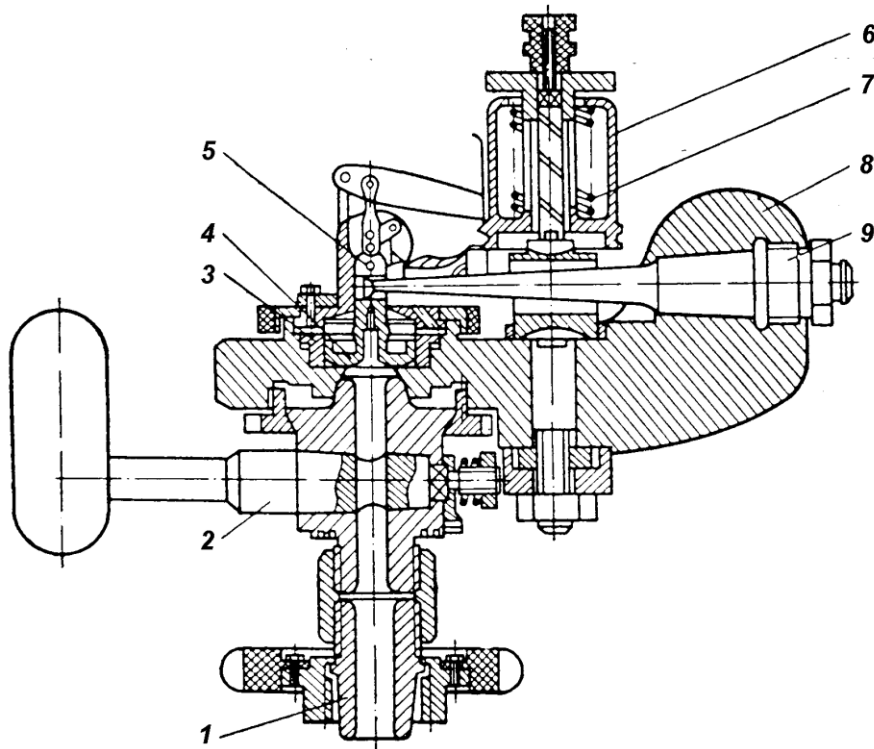


Рис. 1.8. Устройство механического индикатора МИ-1:

1 – конусный наконечник; 2 – пробковый кран; 3 – цилиндр; 4 – поршень;
5 – шток; 6 – барабан; 7 – ось; 8 – станина; 9 – пружина равного сопротивления

Работает устройство следующим образом. Станина индикатора 1 с помощью соединительного ниппеля (состоящего из маховика 19, с накидной гайкой и соединительного конуса 18, гайки 17) индикаторным штуцером 47 присоединяется к индикаторному крану на крышке цилиндра исследуемого двигателя. Малая шестерня 2, укрепленная в верхней части станины, находится в зацеплении с большой шестерней 20, которая установлена на индикаторном штуцере 47. Резьбовая часть большой шестерни ввинчивается в резьбу в станине индикатора и фиксирует положение индикаторного штуцера при вращении от руки с помощью торцевого ключа малой шестерни. При повороте рукоятки крана штуцера 46 и открытии канала через индикаторный кран газы из цилиндра двигателя попадают в поршневую пару прибора и давят на поршень 23. Поршень помещенный в индикаторной головке 24, совершает возвратно-поступательные

движения, а с поршнем в свою очередь с помощью системы рычагов связано пишущее устройство 29. В отверстие штока входит точно калиброванный стержневой шарик пружины 39, которая компенсирует давление газов.

2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВС

Электронные системы диагностики рабочего процесса совмещают в себе возможности перечисленных выше механических приборов и обладают при этом опционально возможностями, представленными в табл. 2.1. Помимо этого полезной функцией является составление отчетов.

Т а б л и ц а 2.1

Электронные системы диагностики

Функции	PREMET XL	THE DOCTOR	MALIN 6000	DEPAS D4.0H
Частота вращения коленчатого вала и основные индикаторные параметры рабочего процесса	•	•	•	•
P_z (min, max, mean)	•	•	•	•
$P(\varphi)$, $P(V)$ - индикаторные диаграммы	•	•	•	•
$dP/d\varphi$ - диаграммы скорости повышения давления при сгорании топлива	•	•	•	•
$P_T(\varphi)$ - диаграммы давления топлива перед форсункой	•	•		
Фазы топливоподачи	•	•		•
Фазы газораспределения				•
Способ синхронизации	Программный/ аппаратный	апп.	апп.	прогр.
Наличие вибродатчика			•	•

Системы разработаны для использования на судовых дизелях (главных и вспомогательных). Так же системы могут быть использованы на береговых дизельных энергетических установках.

Модуль реального времени системы DEPAS D4.0H, в состав которого входят датчик давления газов, вибродатчик и модуль реального времени, предназначен для непосредственной записи данных рабочего процесса и предварительного расчета следующих параметров:

1. Тактность двигателя;
2. Максимальное давление сгорания в цилиндре P_z (среднее, минимальное и максимальное значения за несколько рабочих циклов);
3. Частота вращения коленчатого вала дизеля n ;
4. Среднее давление по времени в цилиндре P_t ;
5. Параметр состояния датчика давления.

Данные индицирования отдельных цилиндров передаются из модуля D4.0H в компьютер. Программное обеспечение производит расчет следующих параметров:

1. Среднее индикаторное давление $P_i \backslash \backslash MIP$.
2. Индикаторная мощность цилиндра $N_i \backslash \backslash P_i$.
3. Частота вращения коленчатого вала n .
4. Максимальное давление сгорания в цилиндре $P_z, P_z^{\min}, P_z^{\max}(\varphi P_z)$.
5. Максимальное давление сжатия P_c .
6. Давление на линии расширения (36° после ВМТ) P_{exp} .
7. Максимальная скорость повышения давления $v_m = \frac{\Delta p}{\Delta \varphi}$.
8. Степень повышения давления $\lambda = \frac{P_z}{P_c}$.
9. Давление в начале сгорания $p'_c(\varphi P'_c)$.
10. Действительные и геометрические фазы топливоподачи $\alpha, \alpha^G, \varphi_{INJ}, \varphi_{INJ}^G$.
11. Период и угол задержки самовоспламенения топлива $\tau_D, \varphi \tau_D$.
12. Фазы газораспределения $\varphi_{in}^{op}, \varphi_{in}^{cls}, \varphi_{exh}^{cls}, \varphi_{exh}^{op}$.
13. Анализ технического состояния ТА и МГР.
14. Давление в любой точке диаграммы P_x .
15. Данные спектрального-FFT анализа (опция).

Характеристики программного обеспечения:

- $P(\varphi), P(V)$ - индикаторные диаграммы;
- $dP/d\varphi$ - диаграммы производных (угловая скорость изменения давления газов в цилиндре);
- вибродиаграммы $vib(\varphi)$ - для анализа фаз топливоподачи, газораспределения и оценки технического состояния топливной аппаратуры и механизма газораспределения;

- сводные диаграммы, сводные бар-диаграммы, сводная таблица основных расчетных параметров;
- расчетный метод определения ВМТ цилиндра (PLS-алгоритм);
- отчет по рабочему процессу в каждом цилиндре, сводный отчет.

Определение ВМТ, НМТ и последующая синхронизация данных производится расчетным путем.

Фазы топливоподачи и газораспределения, а также техническое состояние ТА и МГР определяются с помощью контактного вибродатчика VS-20. Датчик имеет магнитную основу и прочно фиксируется в местах контактов. Определение указанных параметров происходит без непосредственного внедрения в топливную аппаратуру высокого давления и специальных креплений к МГР.

Совместный анализ вибродиаграмм топливной аппаратуры и механизма газораспределения вместе с индикаторной диаграммой рабочего процесса значительно расширил область контроля, включив в нее процессы топливоподачи и газораспределения.

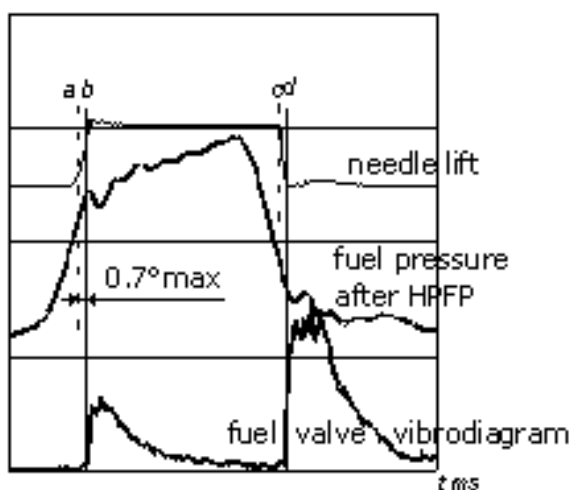


Рис. 2.1. Иллюстрация соответствия фаз топливоподачи с показаниями вибродатчика

Использование вибродатчика в системе поясняется рис. 2.1. Верхняя диаграмма – перемещение иглы форсунки во время впрыска топлива. Средняя диаграмма – давление топлива перед форсункой. Нижняя диаграмма – преобразованная вибродиаграмма торца форсунки. Фазы впрыска топлива (начало, соответствующее подъему иглы и окончание, соответствующее посадке – по верхней диаграмме) совпадают с передними фронтами виброимпульсов на нижней вибродиаграмме. Таким образом, анализ вибродиаграмм дает возможность оценить фазы топли-

воподачи с помощью контактного вибродатчика, без препарирования форсунки и без внедрения специальных датчиков в систему высокого давления. Форма виброимпульсов отражает техническое состояние форсунки и всей топливной аппаратуры высокого давления в целом. При нормальном техническом состоянии ТА форсунка генерирует два импульса (в начале и в конце впрыска) с четко выраженными передними фронтами. В случае установки вибродатчика на торец форсунки, фазовое расстояние от переднего фронта до ВМТ характеризует действительный угол опережения впрыска топлива. При установке вибродатчика на заглушку, напротив отсечного окна ТНВД, фазовое расстояние от переднего фронта виброимпульса до ВМТ характеризует геометрический угол начала подачи топлива ТНВД (угол, определяемый с помощью моментоскопа).

3. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗОВОГО АНАЛИЗА

Газоанализатор АПС14-01 – это портативный измерительный прибор с автономным питанием, предназначенный для определения газового состава (объёмной доли O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2) и температуры продуктов сгорания (дымовых газов), выбрасываемых топочными агрегатами (котлами) и двигателями внутреннего сгорания в окружающую среду, а так же для определения давления и разряжения в дымоходах и вентиляционных трактах вышеуказанных агрегатов.

Газоанализатор производит расчет следующих параметров, характеризующих эффективность работы агрегата: содержания CO_2 в продуктах сгорания, коэффициента избытка воздуха (α), потери тепла с уходящими газами (q_2) и коэффициента полезного действия сгорания топлива (КПД).

Основные характеристики газоанализатора в табл. 3.1 и 3.2.

Т а б л и ц а 3.1

Метрологические характеристики газоанализатора

Измеряемые параметры	Значение
Диапазон измерения объёмной доли кислорода (O_2)	0 до 25 %
Диапазон измерения объёмной доли оксида углерода (CO)	0 до 0,4 %
Диапазон измерения объёмной доли монооксида азота (NO)*	0 до 0,2 %
Диапазон измерения объёмной доли диоксида азота (NO_2)*	0 до 0,04 %
Диапазон измерения объёмной доли диоксида серы (SO_2)*	0 до 0,2 %
Диапазон измерения температуры окружающей среды	0 °C до 50 °C
Диапазон измерения температуры дымовых газов**	0 °C до 1000 °C
Диапазон измерения давления (разряжения)	-1 до 9,99 кПа
Время установления показаний газоанализатора на уровне 0,9 по каналу O_2	не более 30 секунд
Время установления показаний газоанализатора на уровне 0,9 по каналам CO , NO , NO_2 и SO_2	не более 60 секунд
Время полного установления показаний газоанализатора	< 3 минут

На передней панели газоанализатора расположены следующие функциональные элементы.

Дисплей – все измеряемые, расчетные и вводимые оператором значения, диалоговые меню и системные сообщения газоанализатора отображаются на дисплее газоанализатора. Клавиатура газоанализатора состоит из четырех клавиш, предназначенных для включения, выключения и управления работой газоанализатора.

Разъём «t» предназначен для подключения термопары зонда-пробоотборника. Разъём «DC» предназначен для подключения зарядного устройства. Разъём «RS232» типа DB9 предназначен для соединения газоанализатора с принтером или компьютером.

Т а б л и ц а 3.2

Пределы допускаемой основной погрешности измерения

Объёмная доля O ₂		абсолютная, не более $\pm 0,2$ %
Объёмная доля CO	от 0 до 0,03 %	абсолютная, не более $\pm 0,003$ %
	свыше 0,03 %	относительная, не более ± 10 %
Объёмная доли NO	от 0 до 0,02 %	абсолютная, не более $\pm 0,002$ %
	свыше 0,02 %	относительная, не более ± 10 %
Объёмная доли NO ₂	от 0 до 0,01 %	абсолютная, не более $\pm 0,001$ %
	свыше 0,01 %	относительная, не более ± 10 %
Объёмная доли SO ₂	от 0 до 0,02 %	абсолютная, не более $\pm 0,002$ %
	свыше 0,02 %	относительная, не более ± 10 %
Температура окружающей среды		абсолютная, не более ± 3 °C
Температура дымовых газов	от 0 °C до 600 °C	абсолютная, ± 3 °C
	свыше 600 °C	относительная, $\pm 0,5$ %
Давление		абсолютная, $\pm 0,05$ кПа

Входные штуцеры «←» и «Р» в процессе работы соединяются гибким шлангом с выходом устройства предварительной очистки газа.

Зонд-пробоотборник предназначен для отбора и транспортировки топочных газов в устройство предварительной очистки и для измерения их температуры посредством встроенной термопары NiCr-Ni. Пробоотборная трубка зонда и герметичный кожух термопары выполнены из тугоплавкой нержавеющей стали, что позволяет производить долговременные замеры при температуре 600 °C, а кратковременно и до 1000 °C. Пробоотборная трубка с размещенной внутри неё термопарой присоединены к металлической рукоятке зонда. С противоположного конца рукоятки зонда присоединен гибкий шланг длиной 3 м, с размещенными в нем компенсационным проводом термопары и газоотводной трубкой, подсоединяемыми к разъёму «t» газоанализатора и входу устройства предварительной очистки газа соответственно.

В основе работы газоанализатора лежит метод измерения концентраций газов при помощи первичных электрохимических преобразователей (сенсоров), каждый из которых обладает избирательной чувствительностью к одному определенному газу. Электрические токовые сигналы сенсоров преобразуются в напряжение, усиливаются, подвергаются аналого-цифровому преобразованию, затем, посредством цифровой обработки в микропроцессорном устройстве, измеренные значения концентраций газов и расчетные параметры выводятся на дисплей газоанализатора. В стандартном исполнении газоанализатор производит расчет эффективности сгорания топлива в соответствии с методикой Равича.

Газоанализатор состоит из пяти основных функциональных узлов: панели управления и индикации, сенсорной ячейки, аналоговой платы, платы АЦП, платы микроконтроллера.

Дымовые газы поступают под действием насоса газоанализатора через зонд-пробоотборник и устройство предварительной очистки в сенсорную ячейку.

ку газоанализатора и, проходя через неё с постоянным давлением и объёмным расходом, воздействуют на газочувствительные мембраны электрохимических сенсоров. Схема питания сенсоров и усиления их выходных сигналов расположена на аналоговой плате. Усиленные аналоговые сигналы сенсоров поступают на плату АЦП, где кроме аналого-цифрового преобразователя размещены так же интегральный датчик давления, соединенный с входным штуцером давления и усилитель термоЭДС термопары, выходные сигналы которых так же поданы на соответствующие входы АЦП. Кроме этого, на плату АЦП поступает сигнал от аналогового датчика температуры холодного конца термопары, который так же интерпретируется, как температура окружающей среды и напряжение с аккумулятора для контроля его заряда. Цифровой сигнал, содержащий информацию о потенциалах электрохимических сенсорах, давлении и температуре топочных газов, с платы АЦП поступает на плату микроконтроллера. На плату микроконтроллера так же поступает сигнал от цифрового датчика температуры сенсорной ячейки, необходимый для температурной компенсации сигналов от сенсоров. Посредством сканирования клавиатуры, расположенной на панели управления и индикации, микроконтроллер осуществляет включение, выключение и управление режимами работы газоанализатора. Результаты измерения и сообщения диалоговых меню отображаются на дисплее панели управления и индикации. На плате микроконтроллера также расположена батарея, питающая часовой таймер газоанализатора, обеспечивающий работу встроенных часов реального времени.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

На стадии подготовки к работе необходимо изучить методическую литературу и заполнить шаблон отчета.

Используя лабораторное оборудование, изучить конструкцию и работу максиметра, пиметра, индикатора по определению параметров работы цилиндров двигателя. Выполнить выбор пружины индикатора для исходных данных, выданных преподавателем.

Изучить устройство и работу электронной системы диагностики DEPAS 4.0 Handy, электронной системы газового анализа АПС 14-01.

Необходимо произвести запуск двигателя 6Ч12/14

1. Подготовить для запуска двигателя обслуживающие его системы (топливную, систему смазки, систему охлаждения, систему пуска).

2. Подать электропитание на навесной насос смазки.

3. Провернуть двигатель валоповоротным устройством.

4. Прокачать двигатель маслом, включив маслопрокачивающий насос МЗН 2. При достижении давления масла 1,5 - 2,00 бар нажать на щитке управления кнопку ПУСК.

5. На работающем двигателе осуществлять контроль его работы по приборам.

Перечисленные процедуры выполняются каждым студентом из подгруппы. После выхода работы дизеля на режим 1500 об./мин. необходимо подключить модуль реального времени DEPAS D4.OH произвести замер: тактность двигателя, максимальное давление сгорания P_z , частоту вращения коленчатого вала, среднее давление по времени в цилиндре P_t , параметр состояния датчика давления, фазы газораспределения.

На работающем двигателе произвести замеры основных параметров рабочего процесса. Значения занести в таблицу и дать оценку полученным результатам.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать цели и задачи работы, назначение и конструктивные схемы приборов, принцип работы, порядок определения параметров цилиндров двигателя с помощью приборов. Результаты замеров и оценку погрешности полученных результатов. Вся необходимая информация заносится в шаблон отчета в специально отведенные для этого графы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие наиболее распространенные приборы для используются для определения максимального давления сгорания.
2. Устройство максиметра.
3. Какие параметры характеризуют работу цилиндров двигателя?
4. Как можно определить давление в конце сжатия?
5. Как устроен механический индикатор?
6. Типы механических индикаторов, основные отличия.
7. Подбор индикатора по частоте вращения, частота собственных колебаний индикатора.
8. Процесс снятия индикаторной диаграммы.
9. Снятие индикаторной гребенки.
10. Основные причины искажения индикаторной диаграммы.
11. Для чего выполняется индицирование двигателя?
12. Определение P_i по индикаторной диаграмме.
13. Расчет N_i по заданному значению P_i .
14. Какие допускаются неравномерности P_i , P_z , P_c , P_t ?
15. Периодичность контроля работы параметров.
16. Какие бывают пиметры.
17. Отличия P_t от P_i .

ЛИТЕРАТУРА

1. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта : учебное пособие / Г.А. Конкс, В.А.Лашко. – М. : Машиностроение, 2005. – 512 с.

2. Ивановский В.Г., Корнилов Э.В., Афанашенко В.Н., Кобзарь В.М. Топливная аппаратура систем впрыска топлива в цилиндры дизелей (Устройство, эксплуатация) / В.Г.Ивановский, Э.В. Корнилов, В.Н. Афанашенко, В.М. Кобзарь. – Одесса: Феникс, 2005. – 160 с.

3. Федоровский К. Ю. Автоматический контроль и диагностика судовых дизелей : справочное пособие / К. Ю. Федоровский. – Севастополь: СевНТУ, 2006. – 56 с.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВС

*Методические указания
к выполнению лабораторной работы
и обеспечению самостоятельной подготовки студентов*

Составители: **Гоголев** Геннадий Вениаминович,
Первушин Сергей Анатольевич

В авторской редакции

Изд. № 103/2019. Объем 1,5 п.л. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,47.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет