

**ЛЕНИНГРАДСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**КАФЕДРА СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ЗЧ 17, 5/24 ПО НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

**Методические указания
к лабораторным работам 3.1—3.4**

**Ленинград
1989**

Методические указания предназначены для студентов Ленинградского кораблестроительного института факультета корабельной энергетики всех форм обучения (специальности "Судовые машины и механизмы", "Судовые силовые установки", "Автоматизация теплотехнических процессов"), выполняющих лабораторные работы по курсам "Теория судовых ДВС" и "Теоретические основы эксплуатации судовых ДВС".

В указаниях дается краткое описание двигателя и экспериментальной установки, излагаются содержание и порядок выполнения работы, а также требования к составлению отчета и контрольные вопросы.

ГАВРИЛОВ

Владимир Васильевич

КРАСИЛЬНИКОВ

Валентин Борисович

ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ЗЧ 17,5/24 ПО НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Методические указания
к лабораторным работам 3.1-3.4



Изд.ЛКИ,
1989

Ответственный редактор канд.техн.наук,
проф. П.А.Гордеев

Литературный редактор Т.Б.Симоненко

Зак.Р-88. Тир.300. Уч.-изд.л.2,8. 25.07.1989.
Бесплатно. Тип.ЛКИ. Лоцманская, 10.

I. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Основная цель – объяснение закономерностей изменения параметров и показателей дизеля ЗЧ I7,5/24 при работе по нагрузочной характеристике, сопоставление полученных параметров и показателей с данными о других дизелях и с данными завода-изготовителя об испытуемом дизеле, составление заключения о его техническом состоянии.

В ходе выполнения лабораторных работ студент знакомится с конструкцией и работой двигателя и экспериментальной установки, овладевает методикой проведения стендовых испытаний дизеля и обработки экспериментальных данных, приобретает практические навыки в управлении двигателем и в работе с измерительной аппаратурой, самостоятельно получает и анализирует результаты экспериментов. Это способствует лучшему усвоению материала и углублению знаний, полученных в ходе теоретического обучения.

2. СОДЕРЖАНИЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы 3.1 – 3.4 "Испытание двигателя ЗЧ I7,5/24 по нагрузочной характеристике" выполняются последовательно.

Изучив настоящие методические указания и ознакомившись с конструкцией дизеля и экспериментальной установки в лаборатории, студент составляет отчет о лабораторных работах 3.1 и 3.2. После защиты этих работ студент допускается к выполнению работ 3.3 и 3.4 на экспериментальной установке. Отчеты

обо всех работах объединяются, и студент защищает общий отчет, который включает в себя следующие разделы.

Лабораторная работа 3.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

1. Цель испытания.
2. Описание двигателя (приводятся основные технические данные дизеля, краткое описание его конструкции).
3. Экспериментальная установка (приводится схема экспериментальной установки, краткое описание ее состава и работы).

Лабораторная работа 3.2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ И ОБРАБОТКИ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Порядок проведения испытания.
2. Нагрузочная характеристика (дается определение исследуемой характеристики, краткое описание режимов дизеля).
3. Методика обработки результатов испытания (приводятся расчетные формулы для определения основных параметров и показателей дизеля).

Лабораторная работа 3.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЯ

1. Протокол испытания (приводится копия общего протокола испытания дизеля, в которой для каждого исследуемого режима нагрузочной характеристики указываются средние по двум измерениям значения величин).
2. Обработка результатов испытания (составляются таблицы величин, подсчитываемых по формулам раздела 6):

$$N_e, P_e, M, C_T, q_{ц}, q_e, \eta_e, \eta_m, q_i, \eta_i;$$

$$N_i, N_m, C_B, P_B, q_B, \alpha, \eta_n, C_r, C_w, P_r;$$

$$Q_T, Q_e, Q_r, Q_w, Q_m, Q_{нб};$$

$$q_T, q_e, q_r, q_w, q_m, q_{нб};$$

$$q'_T, q'_e, q'_r, q'_w, q'_m, q'_{нб}.$$

В таблицах необходимо предусмотреть дополнительные графы, заполняемые после обработки индикаторных диаграмм, в частности, графы для P_i, P_z .

Лабораторная работа 3.4 ОБРАБОТКА ИНДИКАТОРНЫХ ДИАГРАММ. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Определение среднего индикаторного давления (приводятся таблицы группирования ординат индикаторных диаграмм и подсчитанные по ним значения среднего индикаторного давления P_i . По каждой диаграмме определяется максимальное давление сгорания P_z . Осредненные значения P_i и P_z для каждого режима вносятся в таблицу подсчитываемых величин лабораторной работы 3.3).

2. Диаграммы изменения основных параметров и показателей рабочего процесса дизеля на режимах нагрузочной характеристики.

Диаграммы следует объединить в группы:

$$а) N_e, M, N_i, P_i, N_m, P_z, P_B, t_r = f(P_e);$$

$$б) C_T, q_{ц}, C_B, q_B, \alpha, \eta_n = f(P_e);$$

$$в) q_e, \eta_e, \eta_m, q_i, \eta_i = f(P_e);$$

$$г) q'_T, q'_e, q'_r, q'_w, q'_m, q'_{нб} = f(P_e).$$

Диаграмму относительного теплового баланса целесообразно представить в виде нарастающего итога. Примеры диаграмм показаны на рис. 7.1 и 7.2.

3. Анализ результатов испытания.

Основываясь на протоколе испытания, таблицах расчетных величин и диаграммах, выполняется анализ полученных результатов, определяются и обосновываются закономерности изменения основных величин на режимах нагрузочной характеристики. Прослеживается влияние изменения одних факторов на другие. Производится сопоставление полученных параметров и показателей с параметрами и показателями других дизелей и с паспортными данными испытуемого дизеля.

4. Заключение.

Студент самостоятельно делает выводы о наиболее важных результатах выполненного испытания, оценивает уровень параметров и показателей дизеля, формулирует заключение о его техническом состоянии.

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДИЗЕЛЯ

Дизель 3NVD 24 (3Ч 17,5/24) – трехцилиндровый, четырехтактный, нереверсивный, среднеоборотный, с объемным смешением, без наддува.

Двигатели ряда NVD 24 предназначены для использования на судах морского, речного и рыбопромыслового флота в качестве главных и вспомогательных.

Основные данные дизеля

1. Номинальная мощность при нормальных атмосферных условиях, кВт	48
2. Номинальная частота вращения, с^{-1} (мин^{-1}) ..	10,5 (630)
3. Диаметр цилиндра, мм	175
4. Ход поршня, мм	240
5. Степень сжатия	14,9
6. Удельный эффективный расход топлива на номинальной мощности при нормальных атмосферных условиях, $\text{г/кВт}\cdot\text{ч}$ ($\text{г/л.с.}\cdot\text{ч}$) ..	245 (180)
7. Масса дизеля с генератором на общей раме, кг	4430

Устройство дизеля показано на рис. 3.1. Дизель состоит из фундаментной рамы I, блок-картера 2, крышек цилиндров IO, кривошипно-шатунного механизма, механизма газораспределения и систем: топлива, смазки, охлаждения, пуска и регулирования частоты вращения.

Фундаментная рама I корытообразного сечения отлита из чугуна, имеет поперечные перегородки 24, образующие отсеки по числу цилиндров. Верхние утолщенные части перегородок образуют постели рамовых подшипников 25. Вкладыши подшипников — стальные с баббитовой заливкой. Крышки 3 рамовых подшипников — литые из чугуна, крепятся к раме двумя шпильками.

Блок-картер 2 — литой, чугунный соединен шпильками с фундаментной рамой, плоскость разъема проходит несколько выше оси коленчатого вала. С левой стороны блока имеется прилив, в котором расположены подшипники распределительного вала 4, и направляющие толкателей 5 механизма газораспределения и топливных насосов. Втулки цилиндров I9 чугунные "мокрого" типа установлены в гнездах блока цилиндров. Полости охлаждения герметизированы в верхней части притертыми поверхностями фланцев втулок цилиндров, в нижней — резиновыми уплотнительными кольцами.

Крышки цилиндров IO — отдельные для каждого цилиндра, отлиты из чугуна. Внутренние стенки крышки цилиндра образуют впускные и выпускные каналы, а также водяную полость охлаждения. В крышке установлены: форсунка I4, впускной и выпускной клапаны, пусковой 9 (он же декомпрессионный) и предохранительный I5 клапаны. В верхней части расположены стойки II, на которых закреплены оси и коромысла I3 клапанного привода. К боковым стенкам крышек крепятся фланцы впускного и выпускного I8 патрубков. На отводных патрубках охлаждающей воды за каждым цилиндром установлены термометры I6. На выпускных патрубках за каждым цилиндром также имеются термометры для контроля температур отработавших газов.

Кривошипно-шатунный механизм состоит из коленчатого вала 22, шатуна 2I и поршня 8.

Коленчатый вал — стальной кованый. На кормовом конце вала расположены маховик и шестерня привода распределительного вала, на носовом конце — шестерня для привода навесных агрегатов (циркуляционных насосов систем смазки и охлаждения).

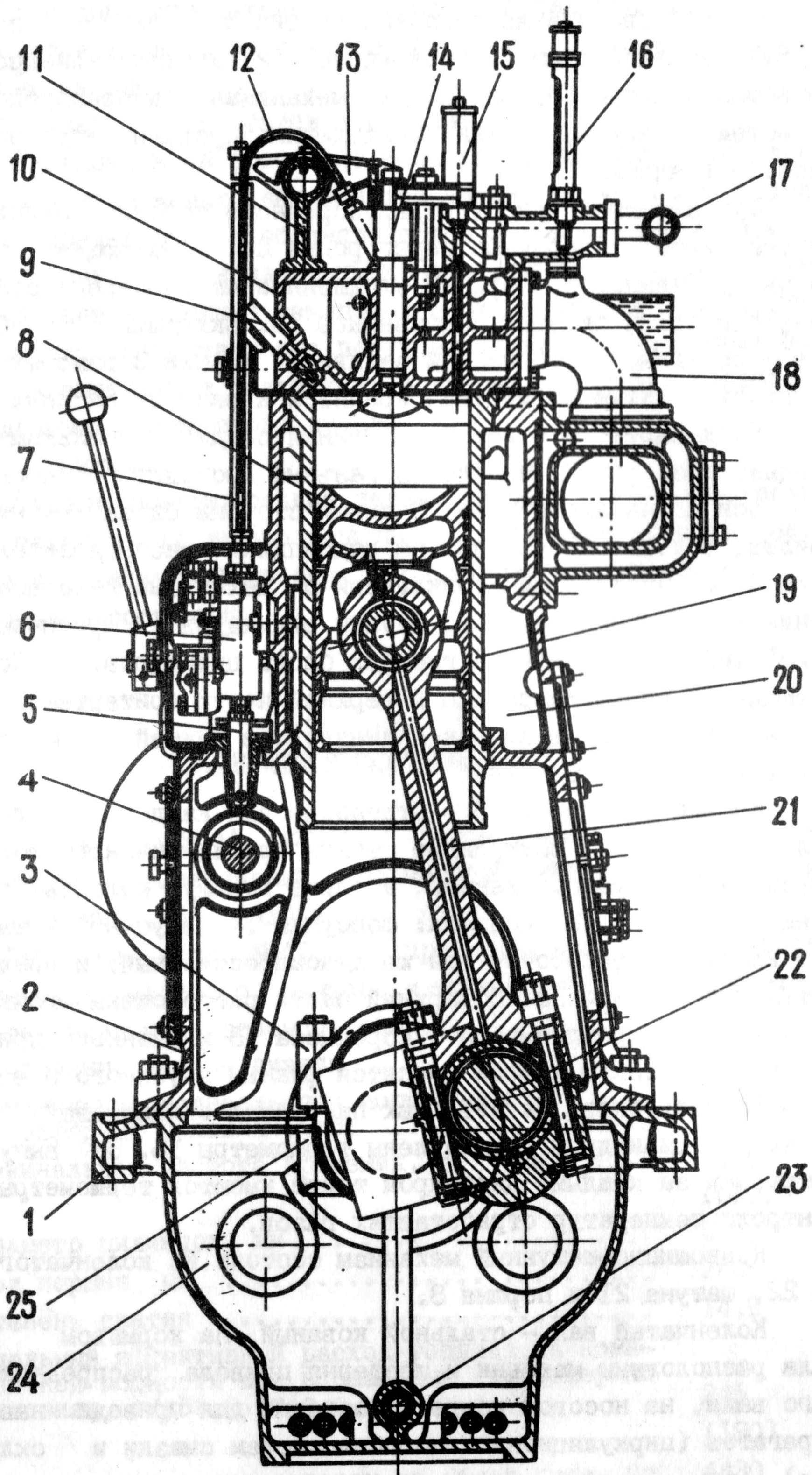


Рис.3.1. Поперечный разрез дизеля 34 17,5/24

Шатун — стальной, со стержнем круглого сечения. В верхнюю головку запрессована бронзовая втулка, образующая головной подшипник. В нижней головке установлены стальные вкладыши с баббитовой заливкой, образующие шатунный подшипник. В стержне выполнено отверстие для подвода смазки к головному подшипнику.

Поршень — литой, чугунный, неохлаждаемый имеет четыре уплотнительных и два маслосъемных кольца. Поршневой палец плавающего типа — стальной, с цементированной и закаленной рабочей поверхностью.

Механизм газораспределения включает в себя следующие элементы: распределительный вал 4, имеющий кулачки привода впускных, выпускных и пусковых клапанов, а также кулачки привода топливных насосов высокого давления; толкатели клапанов; штанги 7 и коромысла 13 клапанного привода; впускной и выпускной клапаны с клапанными пружинами.

Топливная система дизеля состоит: из индивидуальных для каждого цилиндра топливных насосов высокого давления золотниковой типа 6 с регулированием цикловой подачи по моменту отсечки (по концу подачи); форсунок 14 закрытого типа с многорычажными распылителями; сдвоенного войлочного топливного фильтра; топливных трубопроводов высокого 12 и низкого давления.

Система смазки — циркуляционная с "мокрым" картером. Масло, забираемое из картера, подается навесным шестеренчатым насосом через щелевой фильтр и маслоохладитель в главную магистраль системы смазки 23, затем по каналам в перегородках фундаментной рамы 24 к рамовым подшипникам. Далее по сверлениям в шейках и щеках коленчатого вала масло подается к шатунным подшипникам, откуда по отверстиям в стержнях шатунов 21 поступает на смазку головных (поршневых) подшипников. Детали цилиндрико-поршневой группы и механизма газораспределения смазываются разбрызгиваемым маслом. Масло, вытекающее из зазоров рамовых, шатунных и головных подшипников, разбрызгивается по всей внутренней полости дизеля, образуя масляный туман. К системе циркуляционной смазки также подключены: регулятор частоты вращения, опоры шестерен привода распределительного вала и навесных агрегатов. Параллельно с циркуляционным насосом установлен ручной маслопрокачивающий насос для прокачивания системы перед пуском дизеля.

Система охлаждения – жидкостная двухконтурная. В первом контуре навешенный центробежный насос подает пресную воду в блок цилиндров. Пройдя рубашки цилиндров 20, вода поступает в крышки цилиндров, а затем по отводным патрубкам собирается в общий коллектор 17 и направляется в водоохладитель.

Система пуска – воздушная. Пусковой воздух поступает в цилиндр через невозвратный клапан 9. На маховике имеются метки для установки коленчатого вала перед пуском в определенное положение.

Система регулирования частоты вращения включает в себя центробежный всережимный регулятор с приводом от шестерни распределительного вала, механизма изменения натяга пружины регулятора и механизма привода рейки топливных насосов.

4. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка (рис. 4.1 на вклейке) состоит из дизеля Д, закрепленного жестко на фундаментной раме. На этой же раме расположен генератор постоянного тока Г, имеющий сериесную С и шунтовую Ш обмотки. Генератор является потребителем эффективной мощности дизеля. С противоположного торца двигателя установлен пневматический стробоскопический индикатор И типа МАИ-2М для записи давлений в цилиндре дизеля.

В состав установки входят системы, обеспечивающие пуск, снабжение дизеля топливом, воздухом, охлаждающей водой, отвод выхлопных газов, поглощение вырабатываемой энергии. Для получения информации о режиме работы дизеля и расчета необходимых параметров и показателей экспериментальная установка оснащена контрольно-измерительными приборами и устройствами.

Система пуска включает в себя баллон пускового воздуха БПВ, главный пусковой клапан ГПК на посту управления двигателем, распределительные золотники РЗ, имеющие привод от кулачков распределительного вала, а также пусковые невозвратные клапаны ПК, расположенные в крышках цилиндров. Запас пускового воздуха пополняется от компрессора. Для контроля давления пускового воздуха имеется манометр М.

Топливо самотеком поступает из расходной цистерны РЦ, проходит через фильтр грубой очистки ФГО и трехходовой кран ТК, подается в фильтр тонкой очистки ФТО, а затем — в индивидуальные насосы высокого давления ТНВД. В зависимости от положения ТК топливо может поступать к дизелю либо из РЦ, либо из емкости, находящейся на весах 8. Расход топлива определяется измерением с помощью секундомера 9 времени расходования известной навески топлива. Топливные протечки возвращаются от форсунок по специальному трубопроводу в ФТО.

Воздух, поступающий в двигатель, проходит через бак-успокоитель БУ, сглаживающий пульсации давления в приемном трубопроводе. На прямолинейном участке приемного трубопровода дизеля установлена расходомерная диафрагма РД для определения расхода воздуха. Перепад давления на диафрагме и разрежение перед ней измеряются с помощью U-образных водяных манометров I2 и I3. Температура воздуха на всасывании измеряется термометром I4.

Как уже отмечалось, система охлаждения — двухконтурная. Во внутреннем контуре (пресной воды) циркуляцию обеспечивает центробежный насос ЦН, навешенный на двигатель. Для компенсации температурных расширений воды и ее утечек из контура служит расширительный бачок РБ. Для регулирования температуры охлаждающей воды используется перепускной клапан ПК, управляющий количеством воды, перепускаемой мимо водоохладителя ВО. Внешний контур включает в себя навешенный поршневой насос ПН, прокачивающий забортную воду через маслоохладитель МО и водоохладитель ВО. Расход забортной воды определяется измерением с помощью секундомера I8 времени заполнения известного объема в мерном баке МБ при полностью закрытом сливном клапане СК. Мерная стеклянная трубка I7 имеет градуировку в единицах объема. Для измерения температур забортной воды на входе, после МО и ВО, а также температуры пресной воды на выходе из дизеля установлены термометры соответственно I9, 20, 21 и 22. Для повышения живучести в системе охлаждения предусмотрены краны для переключения на одноконтурную схему охлаждения, например, в случае выхода из строя одного из насосов.

Система выпуска включает в себя выпускной коллектор, трубопровод с арматурой и глушитель-искрогаситель. Для измерения температур выпускных газов помимо термометров, установ-

ленных в выпускном коллекторе непосредственно за каждым цилиндром, имеется термометр 16 для измерения средней температуры. Противодавление выхлопа измеряется с помощью U-образного водяного манометра 15.

Для поглощения электроэнергии, вырабатываемой генератором Г, служит водоохлаждаемый реостат Р2. Управление нагрузкой осуществляется с помощью реостата Р1 и выключателя ВК. Измерение электрических параметров в цепи нагрузки с помощью вольтметра и амперметра позволяет определить потребляемую мощность.

На дизеле размещен щиток со штатными приборами: тахометром 2 и манометрами 23, 24 и 25 для измерения соответственно частоты вращения дизеля, давления охлаждающей воды на входе в двигатель, давления масла до и после фильтра.

Полный перечень измеряемых параметров и приборов, которыми оснащена экспериментальная установка, приведен в табл.4.1.

Таблица 4.1

Измеряемые параметры и приборы для их измерения

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Наименование и тип прибора	Класс прибора или основная погрешность	Номер позиции на рис.4.1
I	2	3	4	5	6
Частота вращения вала дизеля	n	мин^{-1}	Тахометр	$\pm 5 \text{ мин}^{-1}$	2
Напряжение на клеммах генератора	U	В	Вольтметр М213	Кл. I,5	3
Ток нагрузки	I	А	Амперметр М367	Кл. I,5	4
Навеска топлива	ΔG_T	кг	Весы ВНЦ-2	$\pm 0,002$	8
Время расходования навески топлива	$\Delta \tau_T$	с	Секундомер	$\pm 0,2$	9
Перепад давления на расходомерной диафрагме	Δh	мм вод. ст.	U-образный манометр	± 5	12

I	2	3	4	5	6
Разрежение перед диафрагмой	Δh_0	мм вод. ст.	U-образный манометр	± 5	13
Температура окружающей среды	t_0	$^{\circ}\text{C}$	Термометр СП-2	$\pm 0,5$	14
Противодавление на выпуске	Δh_r	мм вод. ст.	U-образный манометр	± 5	15
Температура выхлопных газов	t_r	$^{\circ}\text{C}$	Термометр ТЛ-3	± 5	16
Мерный объем воды	ΔQ_w	дм ³	Мерный бак	$\pm 0,5$	17
Время заполнения мерного объема	$\Delta \tau_w$	с	Секундомер	$\pm 0,2$	18
Температура забортной воды на всасывании	t_{w1}	$^{\circ}\text{C}$	Термометр СП-2	$\pm 0,5$	19
Температура забортной воды за маслоохладителем	t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	Термометр СП-2	$\pm 0,5$	20
Температура забортной воды за водоохладителем	t_{w3}	$^{\circ}\text{C}$	Термометр СП-2	$\pm 0,5$	21
Температура пресной воды на выходе из дизеля	$t_{пв}$	$^{\circ}\text{C}$	"	± 1	22
Давление пресной воды	$p_{пв}$	кгс/см ²	Манометр	Кл. 2,5	23
Давление масла до фильтра	p'_m	кгс/см ²	"	Кл. 2,5	24
Давление масла за фильтром	p''_m	кгс/см ²	"	Кл. 2,5	25

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

В целях привития навыков самостоятельной практической работы студентам должна быть предоставлена возможность самостоятельного проведения моторных испытаний.

Результаты измерений, выполняемых в ходе работы, студенты вносят в общий протокол испытания (табл.5.1), номера граф которого совпадают с номерами позиций соответствующих измерительных приборов на схеме экспериментальной установки (см.рис.4.1).

5.1. Рабочие места при проведении испытания

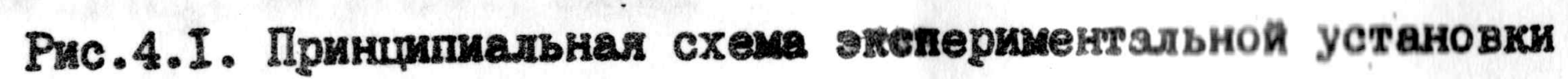
5.1.1. "Руководитель испытания", назначаемый из числа студентов, проверяет готовность к работе двигателя, измерительной аппаратуры и установки в целом, распределяет студентов по рабочим местам, контролирует своевременность выполнения всех измерений, дает указания об изменении режима работы двигателя, следит за соблюдением условий тепловой стабилизации двигателя во вновь установленном режиме, дает сигнал "измерение".

5.1.2. На рабочем месте "нагружение двигателя" студент после пуска и прогрева двигателя изменением затыга пружины всережимного регулятора устанавливает заданную частоту вращения коленчатого вала двигателя n , контролируя ее по тахометру 4 (см.рис.4.1). Регулируя реостатом $P1$ возбуждение генератора, устанавливает заданное таблицей режимов (см. табл.5.3) выходное напряжение генератора U (по вольтметру 3) и измеряет ток нагрузки I (амперметром 4), следит за режимом охлаждения реостата $P2$. Результаты измерений n , U , I вносит в графы соответственно 2, 3 и 4 и общего протокола испытания.

5.1.3. На рабочем месте "измерение расхода топлива" студент выполняет следующие операции:

- перед испытанием двигателя проверяет наличие топлива в топливной системе, убеждается в исправности секундомера, знакомится с его шкалой;

- перед испытанием знакомится с положениями переключающего топливного крана ТК (см.рис.4.1), соответствующими ре-



жимам "наполнение расходной банки на весах", "расход с весов на двигатель", "расход из цистерны на двигатель";

– при выводе двигателя на заданный режим убеждается в том, что переключающий топливный кран ТК находится в положении "расход из цистерны на двигатель";

– непосредственно перед измерением переводит переключающий топливный кран ТК в положение "расход с весов на двигатель". (По мере расходования топлива стрелка весов непрерывно перемещается влево. Снимая или устанавливая на весы разновески, либо наполняя расходную банку на весах топливом из цистерны, добиваются, чтобы стрелка весов перед измерением находилась вблизи правого края шкалы, т.е. чтобы имелся "запас шкалы" на перемещение стрелки при измерении);

– по сигналу "измерение" секундомером 9 определяет время $\Delta \tau_T$, с, расходования с весов 8 навески топлива ΔG_T , кг.

Навеску топлива рекомендуется принимать на нагрузке
 10% – $\Delta G_T = 0,05$ кг; 25 и 50% – $\Delta G_T = 0,1$ кг; 75 и 100% – $\Delta G_T = 0,2$ кг.

Результаты измерений ΔG_T , $\Delta \tau_T$ записываются соответственно в графы 8 и 9 общего протокола испытания.

5.1.4. Обязанности студента на рабочем месте "измерение давлений":

– перед началом испытания и после него измерить барометрическое давление B'_0 и B''_0 , мм рт.ст.; в протокол испытания внести среднее значение давления

$$B_0 = \frac{B'_0 + B''_0}{2};$$

– перед началом испытания определить постоянную K_d расходомерной диафрагмы РД (см.рис.4.1) по ее паспортным данным и записать в общий протокол;

– при испытании двигателя по сигналу "измерение" выполнить измерения давлений следующими приборами;

а) дифманометром I2 (перепад давления Δh , мм вод.ст., на расходомерной диафрагме);

б) дифманометром I3 (разрежение Δh_0 , мм рт.ст., перед расходомерной диафрагмой);

в) дифманометром I5 (противодавление Δh_T , мм вод.ст., на выпуске отработавших газов);

Ленинградский
ордена Ленина
кораблестроительный
институт

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ
ПО НАГРУЗОЧНОЙ

Кафедра судовых двигателей
внутреннего сгорания и
дизельных установок

Давление окружающей

Постоянная расходе-

" " _____ 19 ____ г.

Номер измерения	Частота вращения	Напряжение	Сила тока	Электрическая мощность генератора	Потеря мощности в генераторе	Эффективная мощность двигателя	Топливо				Воздух		
							Масса	Время	Часовой расход	Удельный эффективный расход	Перепад давления в диафрагме	Разрежение перед диафрагмой	Температура окружающей среды
	$n, \frac{1}{\text{мин}}$	$U, В$	$I, А$	$N_{\text{г}}, кВт$	$\Delta N_{\text{г}}, кВт$	$N_{\text{д}}, кВт$	$\Delta C_{\text{т}}, кг$	$\Delta \tau_{\text{т}}, с$	$C_{\text{т}}, \frac{кг}{ч}$	$q_{\text{д}}, \frac{кг}{кВт \cdot ч}$	$\Delta h_1, мм вод. ст.$	$\Delta h_0, мм вод. ст.$	$t_{\text{ср}}, ^\circ C$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

г) манометром 23 (давление пресной воды $P_{\text{нв}}, кгс/см^2$, в системе охлаждения);

д) манометром 24 (давление масла $P'_M, кгс/см^2$, перед фильтром в системе смазки);

е) манометром 25 (давление масла $P''_M, кгс/см^2$, после фильтра).

Результаты измерений записываются в соответствующие графы общего протокола испытания.

5.1.5. На рабочем месте "измерение температур" студент измеряет:

Таблица 5.1

ДВИГАТЕЛЯ ЗЧ 17,5/24
ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Группа №

среды $B_0 =$, мм рт.ст.

мерной диафрагмы $K_g =$

1	6
2	7
3	8
4	9
5	10

Отработанные газы		Забортная вода				Пресная вода		Масло	
Противодавление выпуска	Температура	Объем	Время	Температура на входе в систему	Температура после охладителя масла	Температура на выходе из системы	Температура на выходе из двигателя	Давление	Давление перед фильтром
$\Delta h, мм вод. ст.$	$t_{\text{от}}, ^\circ C$	$N_{\text{в}}, л$	$\Delta \tau_{\text{с}}, с$	$t_{\text{в1}}, ^\circ C$	$t_{\text{о2}}, ^\circ C$	$t_{\text{в3}}, ^\circ C$	$t_{\text{нв}}, ^\circ C$	$P_{\text{нв}}, \frac{кг}{см^2}$	$P'_M, \frac{кг}{см^2}$
I5	I6	I7	I8	I9	20	21	22	23	24

- температуру окружающей среды $t_0, ^\circ C$ (поз. I4 на рис. 4.1 и графа I4 в протоколе);

- температуру отработавших газов $t_{\text{г}}, ^\circ C$ (поз. I6);

- температуры забортной воды:

а) на входе в систему охлаждения $t_{\text{в1}}, ^\circ C$ (поз. I9);

б) после охладителя масла $t_{\text{о2}}, ^\circ C$ (поз. 20);

в) на выходе из системы охлаждения (после водоохладителя) $t_{\text{в3}}, ^\circ C$ (поз. 21);

- температуру пресной воды на выходе из двигателя $t_{\text{нв}}, ^\circ C$ (поз. 22).

Результаты измерений записываются в соответствующие графы общего протокола испытания.

5.1.6. На рабочем месте "измерение расхода заборной охлаждающей воды" студент выполняет следующие операции:

- перед испытанием двигателя знакомится с системой слива охлаждающей воды, с мерным баком МБ (см.рис.4.1), со шкалой мерной стеклянной трубки I7 бака, убеждается в исправности секундомера I8, в наличии завода пружины и знакомится с его шкалой;

- по сигналу "измерение" плотно закрывает клапан КС слива воды из мерного бака; при этом сливающаяся из системы охлаждающая вода заполняет мерный бак;

- секундомером измеряет время $\Delta \tau_w$, с, заполнения некоторого объема ΔV_w , м³, мерного бака.

Результаты измерений записывает в графы I8 и I7 общего протокола испытания.

5.1.7. На рабочем месте "индицирование двигателя" студент выполняет следующие работы:

- перед испытанием двигателя знакомится с принципом действия, устройством и правилами обслуживания электропневматического индикатора МАИ-2 (см.рис.4.1) по учебному пособию [1] или по объяснениям учебного мастера;

- после пуска двигателя и перед его остановкой в конце испытания (на первой и последней индикаторных диаграммах) определяет масштаб давления на диаграммах;

- по сигналу "измерение" записывает индикаторную диаграмму, указывает на ней дату испытания и номер режима.

5.1.8. На рабочем месте "протокол испытаний" в обязанности студента входит:

- заполнение общего протокола испытания (в двух экземплярах) по данным индивидуальных черновых протоколов, представляемых всеми участниками испытания по окончании каждого измерения;

- расчет основных величин по данным проводимого испытания с целью проверки правильности измерений и хода испытания; расчет электрической мощности на клеммах генератора N_T (графа 5 протокола), потери мощности в генераторе ΔN_T (графа 6), эффективной мощности двигателя N_e (графа 7), часового расхода топлива G_T (графа 10), удельного эффектив-

ного расхода топлива q_e (графа II) по формулам, приведенным в гл.6.

5.1.9. При проведении испытаний по программе, отличающейся от предусмотренной настоящими методическими указаниями, а также сообразуясь с числом участников испытания, руководитель может объединить рабочие места или назначить дополнительные.

5.2. Порядок проведения испытания

5.2.1. Начиная работу в лаборатории, каждый студент должен ознакомиться с инструкцией по технике безопасности и расписаться в специальном журнале.

5.2.2. Перед началом испытания руководитель распределяет студентов по рабочим местам (см. параграф 5.1).

5.2.3. Для каждого рабочего места студенты готовят форму индивидуального чернового протокола измерений. Образец индивидуального протокола показан в табл.5.2.

Таблица 5.2

Протокол измерений			
Номер измерения	Номер точки измерений		
	2	3	4
	Обозначение величины, размерность		
	$n, \text{мин}^{-1}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$
I			
2			
...			
10			

" " " 19 г. Вел протокол _____

Номера точек измерений соответствуют номерам граф в общем протоколе испытания (см. табл.5.1).

5.2.4. Двигатель запускают и прогревают на режиме хо-

лостого хода до стабилизации температур смазочного масла и охлаждающей воды.

После прогрева двигатель нагружают (см. п. 5.1.2) и устанавливают первый режим работы. Указания о режимах см. в параграфе 5.3.

5.2.5. При установившемся тепловом состоянии двигателя на исследуемом режиме производят измерения всех регистрируемых при испытании величин и записывают индикаторную диаграмму.

Измерения начинаются всеми студентами одновременно по светозвуковому сигналу. На каждом рабочем месте результаты измерений записывают в индивидуальный черновой протокол (см. табл. 5.2) и сразу же сообщают студенту, ведущему общий протокол испытания, который рассчитывает N_r , ΔN_r , N_e , C_T и η_e после каждого измерения.

После того как все результаты измерения внесены в общий протокол, дается сигнал к повторному (контрольному) измерению. Таким образом, на каждом режиме работы двигателя выполняют не менее двух измерений.

Результаты основного и повторного измерений на одном режиме, а также значения соответствующих подсчитываемых в ходе испытания величин не могут существенно отличаться друг от друга. При обнаружении существенных отличий следует выяснить их причину и при необходимости повторить измерение и расчеты.

5.2.6. Устанавливают следующий режим работы двигателя и повторяют операции по п. 5.2.5.

5.2.7. После измерений на всех режимах работы двигатель переводят на холостой ход, постепенно уменьшая нагрузку, и сдают стенд учебному мастеру лаборатории.

5.2.8. По окончании работы в лаборатории подлинник общего протокола испытания сдается на кафедру для подшивки в журнал эксплуатации дизеля.

Для обработки результатов испытания и оформления отчета студенты получают копию общего протокола испытания и индикаторные диаграммы.

5.3. Испытание двигателя по нагрузочной характеристике

Нагрузочной характеристикой называется зависимость показателей и параметров двигателя от нагрузки (среднего эффективного давления p_e , крутящего момента M , эффективной мощности N_e) при постоянной частоте вращения коленчатого вала ($n = \text{const}$).

Испытание проводят при $n = 630 \text{ мин}^{-1}$ и при пяти режимах по нагрузке, устанавливаемой по выходному напряжению генератора U (см. п. 5.1.2). Рекомендуемые значения напряжения U на различных нагрузках приведены в табл. 5.3

Таблица 5.3

Рекомендуемые режимы работы двигателя

$\bar{N}_r, \%$	10	25	50	75	100
$U, \text{В}$	78	108	151	188	220

\bar{N}_r — относительная электрическая мощность на клеммах генератора.

6. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

6.1. Расчетные формулы

6.1.1. Электрическая мощность на клеммах генератора, кВт

$$N_r = 10^{-3} U I,$$

где U — напряжение на клеммах генератора, В; I — сила тока в цепи нагрузки генератора, А.

6.1.2. Потеря мощности в генераторе при $n = 630 \text{ мин}^{-1}$, кВт

$$\Delta N_r = 2 + 0,41 \cdot 10^{-3} I^2.$$

6.1.3. Эффективная мощность двигателя, кВт

$$N_e = N_r + \Delta N_r.$$

6.I.4. Среднее эффективное давление, МПа

$$P_e = \frac{N_e}{V_s i \chi \frac{n}{60} \cdot 10^3} = 6,93 \frac{N_e}{n},$$

где V_s – рабочий объем цилиндра, м^3 ; i – число цилиндров;
 χ – коэффициент тактности, $\chi = 0,5$; n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} .

6.I.5. Крутящий момент на валу двигателя, Н·м

$$M = 9549 \frac{N_e}{n} = 1378 P_e.$$

6.I.6. Часовой расход топлива, кг/ч

$$G_T = \frac{3600 \Delta G_T}{\Delta \tau_T},$$

где ΔG_T – навеска топлива, т.е. заранее заданная масса топлива, кг, время расходования которой измеряется: $\Delta \tau_T$ – время расходования ΔG_T , кг, топлива, с.

6.I.7. Цикловая подача топлива в один цилиндр, г/цикл

$$g_{\text{ц}} = \frac{G_T \cdot 10^3}{60 i n \chi} = 11,11 \frac{G_T}{n}.$$

6.I.8. Удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч

$$g_e = \frac{G_T \cdot 10^3}{N_e}.$$

6.I.9. Эффективный КПД двигателя

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot 10^3}{g_e \cdot Q_H} = \frac{85,1}{g_e},$$

где $Q_H = 42287$ – низшая теплота сгорания топлива среднего состава, кДж/кг,

6.I.10. Механический КПД двигателя

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i},$$

где P_i – среднее индикаторное давление, МПа, определяемое по индикаторной диаграмме данного режима работы дизеля ме-

тодом, изложенным в параграфе 6.2; P_e – среднее эффективное давление, МПа.

6.1.11. Удельный индикаторный расход топлива, г/кВт·ч

$$g_i = g_e \eta_m.$$

6.1.12. Индикаторный КПД двигателя

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}.$$

6.1.13. Индикаторная мощность двигателя, кВт

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_m}.$$

6.1.14. Мощность механических потерь в двигателе, кВт

$$N_m = N_i - N_e.$$

6.1.15. Расход воздуха на двигатель, кг/ч

$$G_B = K_g \sqrt{\Delta h \rho_B},$$

где K_g – коэффициент расходомерной диафрагмы (см. табл. 5.1); Δh – перепад давления в расходомерной диафрагме, измеряемый водяным дифференциальным манометром, мм вод.ст.; ρ_B – плотность воздуха перед расходомерной диафрагмой, кг/м³, подсчитывается по уравнению состояния

$$\rho_B = \frac{P_B}{R_B T_0},$$

где $R_B = 287$ – газовая постоянная воздуха, Дж/кгК; T_0 – температура окружающей среды, К; P_B – абсолютное давление воздуха перед расходомерной диафрагмой, Па.

Давление воздуха перед диафрагмой определяют с использованием результатов измерений по формуле

$$P_B = P_0 - \Delta P_0,$$

где P_0 – давление окружающей среды, Па; ΔP_0 – разрежение перед расходомерной диафрагмой, Па.

Если давление окружающей среды измерено в единицах, отличных от паскалей, то учитываются следующие соотношения единиц:

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$1 \text{ мм.рт.ст} = 133,3 \text{ Па};$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}.$$

Разрежение перед расходомерной диафрагмой измеряют
U-образным дифференциальным водяным манометром, поэтому
 Δp_0 , Па, рассчитывают по формуле.

$$\Delta p_0 = 9,81 \Delta h_0,$$

где Δh_0 — разрежение перед расходомерной диафрагмой,
мм вод.ст.

6.I.I6. Удельный расход воздуха, кг/кВт·ч

$$q_B = \frac{G_B}{N_e}.$$

6.I.I7. Коэффициент избытка воздуха при сгорании

$$\alpha = \frac{G_B}{14,33 G_T},$$

где 14,33 — теоретически необходимое количество воздуха для
сгорания 1 кг топлива, кг/кг.

6.I.I8. Коэффициент наполнения цилиндров

$$\eta_n = \frac{G_B}{3600 \rho_0 V_s i \frac{n}{60} \pi} = 1,925 \frac{G_B}{\rho_0 n},$$

где ρ_0 — плотность воздуха перед двигателем, кг/м³:

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R_B \cdot T_0}.$$

6.I.I9. Расход отработавших газов, кг/ч

$$G_r = G_B + G_T.$$

6.I.20. Расход "заборной" охлаждающей воды, кг/ч

$$G_W = \frac{3600 \Delta V_W \rho_W}{\Delta \tau_W},$$

где ΔV_W — объем мерного бака, л; $\rho_W = 1$ — плотность охлаждающей воды, кг/л; $\Delta \tau_W$ — время заполнения мерного объема
 ΔV_W водой, с.

6.1.21. Давление отработавших газов на выходе из двигателя, Па

$$P_r = P_0 + \Delta P_r,$$

где ΔP_r – избыточное давление отработавших газов на выходе из двигателя, Па, измеряется U-образным водяным манометром, поэтому

$$\Delta P_r = 9,81 \Delta h_r,$$

где Δh_r – избыточное давление отработавших газов, мм вод.ст.

6.1.22. Тепловой баланс двигателя:

а) абсолютный

– общее количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, кДж/ч

$$Q_T = Q_H \cdot G_T;$$

– количество теплоты, преобразованной в полезную работу, кДж/ч

$$Q_e = 3600 N_e;$$

– количество теплоты, отводимой с отработавшими газами, кДж/ч

$$Q_r = G_r C_r (t_r - t_0),$$

где $C_r \cong 1,09$ – ориентировочное значение средней массовой теплоемкости газов при постоянном давлении, кДж/кг⁰С;

t_r – температура отработавших газов в выпускном коллекторе, ⁰С;

– количество теплоты, отводимой от охлаждаемых стенок двигателя с пресной охлаждающей водой, кДж/ч

$$Q_W = G_W C_W (t_{W3} - t_{W2}),$$

где $C_W \cong 4,19$ – массовая теплоемкость воды, кДж/кг⁰С; t_{W2} ,

t_{W3} – температура заборной воды на входе и выходе из охладителя пресной воды, ⁰С;

– количество теплоты, отводимой от масла, кДж/ч

$$Q_M = G_M C_M (t_{W2} - t_{W1}),$$

где t_{W1} , t_{W2} – температура заборной воды на входе и выходе из охладителя масла, ⁰С;

– остаточный член теплового баланса, кДж/ч

$$Q_{нб} = Q_T - (Q_e + Q_r + Q_w + Q_m);$$

б) удельный, кДж/кВт·ч, и относительный, %

$$q_T = q_e Q_H \cdot 10^{-3}; \quad q'_T = 100;$$

$$q_e = 3600; \quad q'_e = 100 \quad \eta_e = 100 \frac{Q_e}{Q_T};$$

$$q_r = \frac{Q_r}{N_e}; \quad q'_r = 100 \frac{Q_r}{Q_T};$$

$$q_w = \frac{Q_w}{N_e}; \quad q'_w = 100 \frac{Q_w}{Q_T};$$

$$q_m = \frac{Q_m}{N_e}; \quad q'_m = 100 \frac{Q_m}{Q_T};$$

$$q_{нб} = \frac{Q_{нб}}{N_e}; \quad q'_{нб} = 100 \frac{Q_{нб}}{Q_T}.$$

6.2. Обработка индикаторной диаграммы

Основная цель обработки индикаторной диаграммы в лабораторной работе 3.4 – определение среднего индикаторного давления. В работе используются индикаторные диаграммы, полученные при помощи электропневматического индикатора МАИ-2.

Развернутая индикаторная диаграмма, представляющая собой зависимость давления в полости цилиндра двигателя от угла поворота коленчатого вала, показана на рис.6.1.

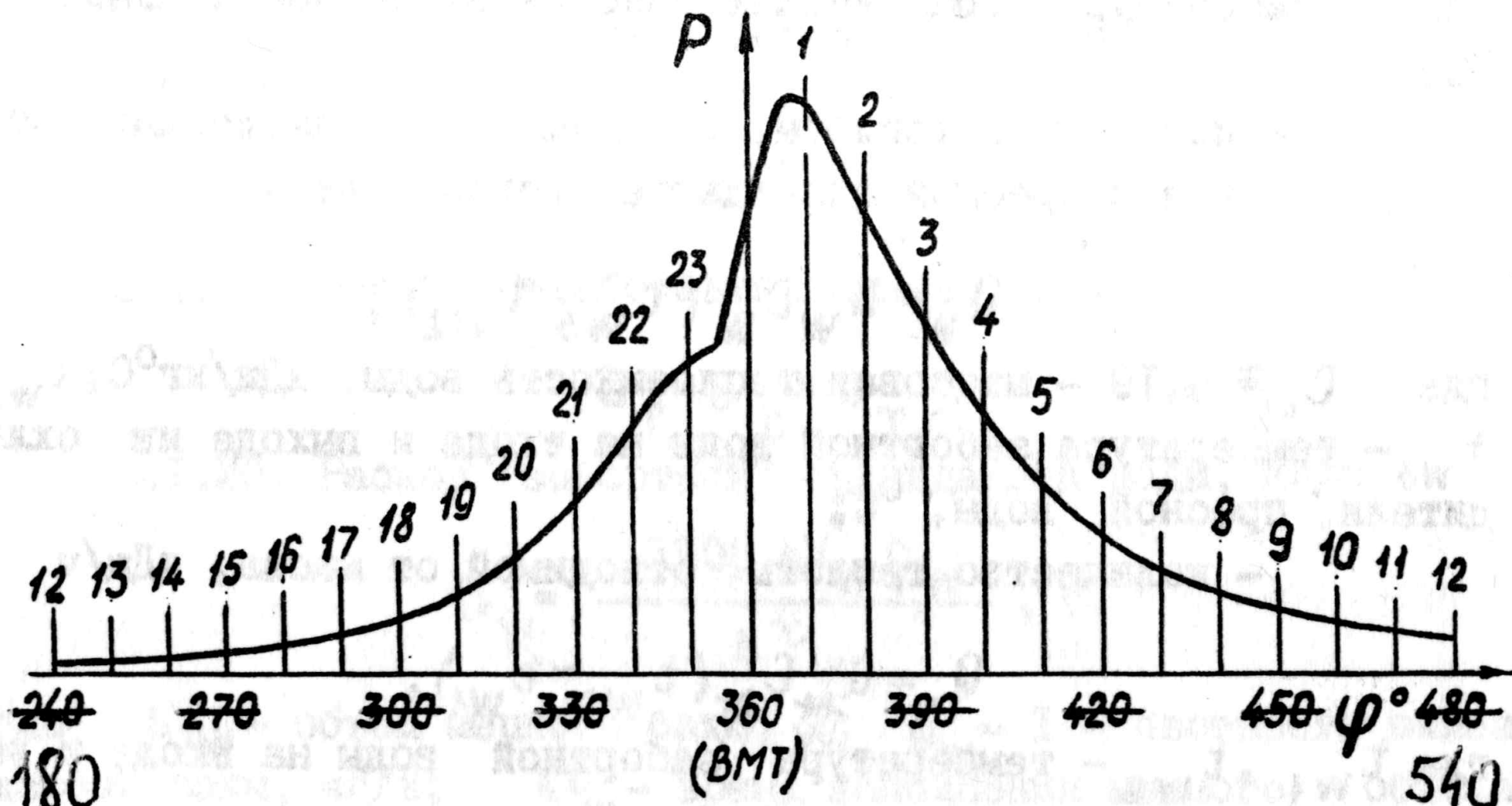


Рис.6.1. Развернутая индикаторная диаграмма

Диаграмма должна иметь линию нулевого избыточного давления ("атмосферную" линию) и перпендикулярную ей линию ВМГ. По оси абсцисс 1 мм диаграммы соответствует 1° п.к.в., а масштаб давления по оси ординат определяют по градуировочным линиям на первой и последней индикаторных диаграммах испытания.

Определение среднего индикаторного давления по развернутой индикаторной диаграмме производится методом гармонического анализа. Сущность метода изложена в пособии П.А.Гордеева [1].

Обработка диаграммы ведется следующим образом. Осредняя по густоте расположения пробитых искрой точек, проводят остро заточенным карандашом линию давления, атмосферную линию и линию ВМГ. Приняв линию ВМГ за базовую, нулевую ординату, производят разбивку диаграммы двадцатью четырьмя равноотстоящими ординатами (через 15° п.к.в.), причем нумерация ординат ведется в сторону линии расширения (см.рис.6.1).

Определение коэффициентов разложения зависимости $p = f(\varphi)$ в ряд Фурье производится по методу Рунге - Эмде с помощью таблицы группирования ординат (табл.6.1). Заполнение таблицы и расчеты по ней ведутся следующим образом.

Измеряя ординаты диаграммы, записывают их в 1-ю и 2-ю строки таблицы группирования в масштабе диаграммы (в мм). Третья строка является разностью 1-й и 2-й строк (вычитание ведется по столбцам таблицы). 4-я строка численно равна 3-й, но записана в указанном в таблице порядке. 5-я строка дает суммы по столбцам 3-й и 4-й строк. В 6-й строке находят произведения B_i на синус соответствующего угла. Суммируя все произведения 6-й строки, находят Σ_1 и далее $B_1 = \frac{1}{12} \Sigma_1$. 7-я строка дает разности по столбцам 3-й и 4-й строк. 8-я строка равна 7-й, но записывается в указанном в таблице порядке. 9-я дает суммы по столбцам 7-й и 8-й строк. В 10-й строке записывают произведения A_i на синусы углов, указанных в таблице. Суммируя все произведения 10-й строки, находят Σ_2 и далее $B_2 = \frac{1}{12} \Sigma_2$.

Среднее индикаторное давление, МПа, вычисляют по формуле

$$P_i = m_p \frac{\pi}{2} (B_1 + \frac{\lambda}{2} B_2),$$

где m_p – масштаб диаграммы по оси давления, МПа/мм; $\lambda =$
 $= \frac{R}{L_{ш}} = 0,228$ – отношение радиуса мотыля к длине шатуна
 испытанного двигателя.

Таблица 6.1

Группирование ординат для определения
 по развернутой индикаторной диаграмме

1	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}
2	y_{23}	y_{22}	y_{21}	y_{20}	y_{19}	y_{18}	y_{17}	y_{16}	y_{15}	y_{14}	y_{13}
3	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}
4	a_{11}	a_{10}	a_9	a_8	a_7	\times					
5	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	$b_6 = a_6$				
6	$\sin 15$	$\sin 30$	$\sin 45$	$\sin 60$	$\sin 75$	$\sin 90$	$\sum_1 \quad B_1 = \frac{1}{12} \sum_1$				
7	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5						
8	c_5	c_4	\times								
9	d_1	d_2	d_3	$d_3 = c_3$							
10	$\sin 30$	$\sin 60$	$\sin 90$	$\sum_2 \quad B_2 = \frac{1}{12} \sum_2 \quad p_i = m_{p2} \frac{\pi}{2} (B_1 + \frac{\lambda}{2} B_2),$							

где m_p – масштаб давлений, МПа/мм.

По указанию преподавателя, кроме p_i , по индикаторной диаграмме могут быть определены максимальное давление сгорания P_x , показатель политропы сжатия, средняя и максимальная скорости нарастания давления газов в цилиндре в период быстрого сгорания топлива, степень повышения давления при сгорании, построены характеристики тепловыделения.

6.3. Анализ погрешностей измерений

По указанию преподавателя студенты оценивают погрешности прямых и косвенных измерений некоторых основных величин.

При определении абсолютных и относительных погрешностей прямых измерений можно пользоваться данными о классах точности используемых в испытаниях приборов (см. табл. 4.1).

Погрешность косвенного измерения вычисляется по известной методике [2] с использованием формулы, связывающей косвенно измеряемую (определяемую расчетным путем) величину с величинами, измеряемыми прямым способом. Перечень формул исследуемых величин приведен в параграфе 6.1.

7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ

Студент представляет к защите общий отчет о лабораторных работах 3.1–3.4. Требования к содержанию отчета изложены в разделе 2.

При подготовке отчета необходимо пользоваться изданными в ЛКИ методическими указаниями по оформлению пояснительных записок и графической части студенческих работ [3] либо ГОСТами ЕСКД [4] и ГОСТ 7.32–81 "Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления".

Текст пояснительной записки выполняется на одной стороне листа белой бумаги формата А4, диаграммы – либо на белой, либо на миллиметровой бумаге того же формата.

Диаграммы вычерчивают при помощи лекал черным карандашом. Использование цветных карандашей не допускается.

Диаграммы на листе следует размещать так, чтобы полностью использовать поле чертежа. С другой стороны, необходимо позаботиться о том, чтобы шкалам диаграммы не было "тесно". Название рисунка располагают над изображением, поясняющие данные – под изображением, еще ниже – номер рисунка.

Пример оформления диаграмм приведен на рис. 7.1 и 7.2. Координатную сетку рекомендуется нанести даже при использовании миллиметровой бумаги.

Масштабы кривых выбирают такими, чтобы отчетливо был виден характер изменения рассматриваемых величин. Весьма важным элементом диаграммы являются шкалы. Шкалы в виде равноотстоящих друг от друга, по возможности, округленных числовых значений наносят на координатные оси в пределах измене-

Нагрузочная характеристика дизеля

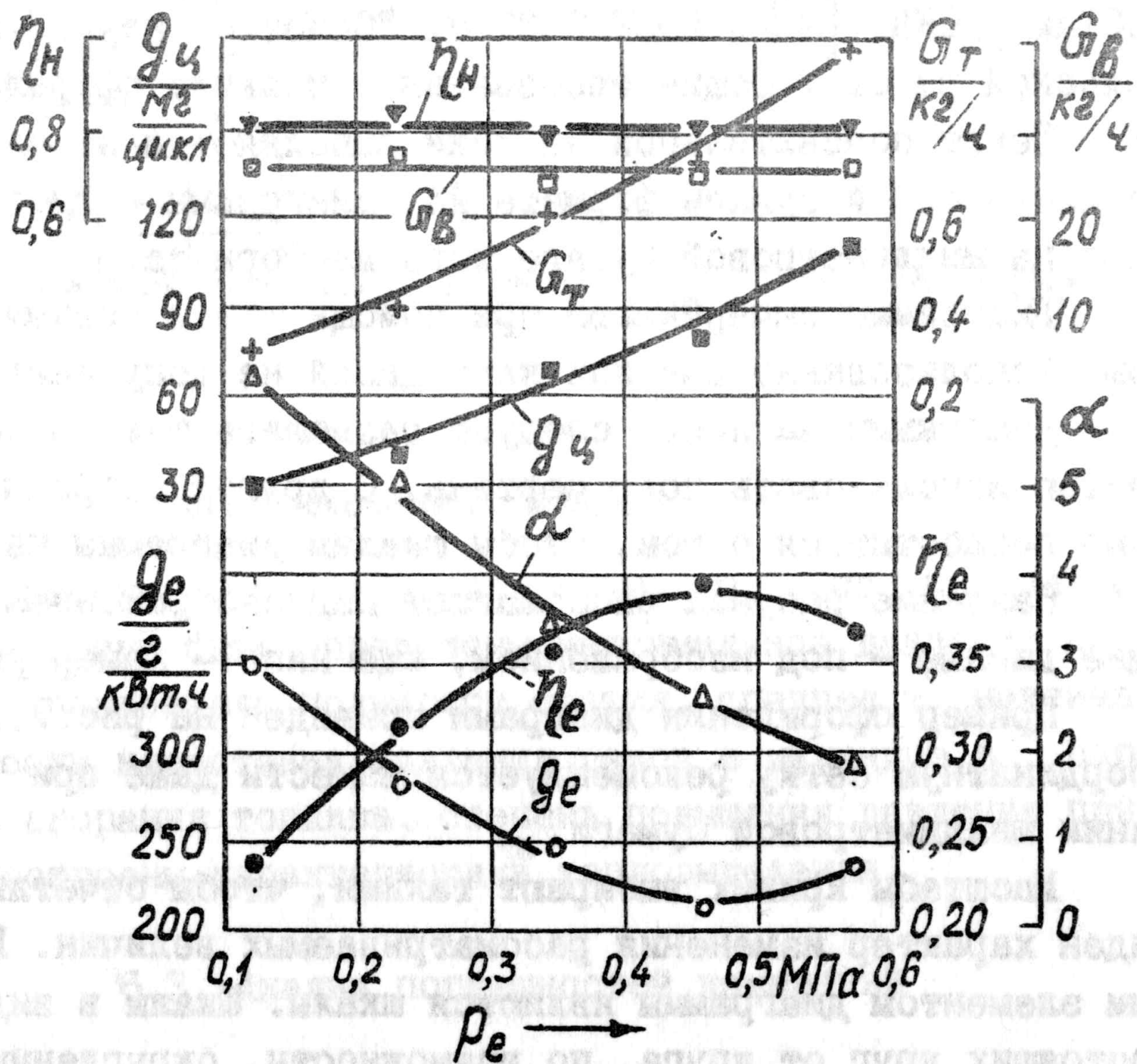
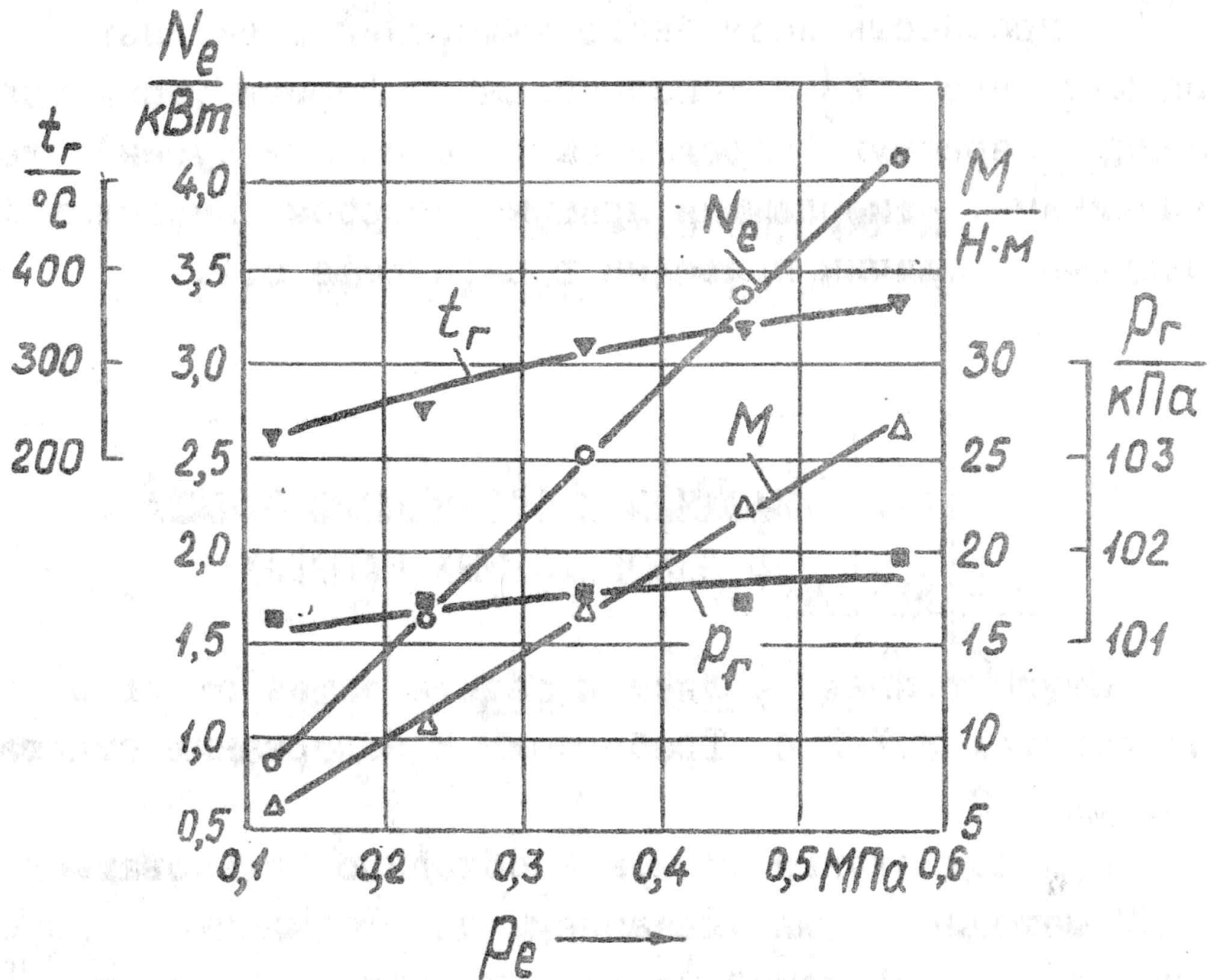


Рис.7.1. Пример нагрузочной характеристики дизеля

ния соответствующих величин. Какие-либо промежуточные значения указывать на шкале не допускается. Числа располагают напротив узлов координатной сетки.

При размещении на одной диаграмме кривых нескольких величин шкалы наносят на обеих (левой и правой) крайних ординатах диаграммы. Кроме крайних ординат для нанесения шкал иногда используют дополнительные оси с делениями (см. рис. 7.1).

Размер ячейки координатной сетки или расстояние между делениями шкал выбирают такими, чтобы можно было легко определить значения величины в промежуточных точках кривых. Указанное расстояние рекомендуется выбирать не более 10–20 мм.

Тепловой баланс дизеля при работе по нагрузочной характеристике

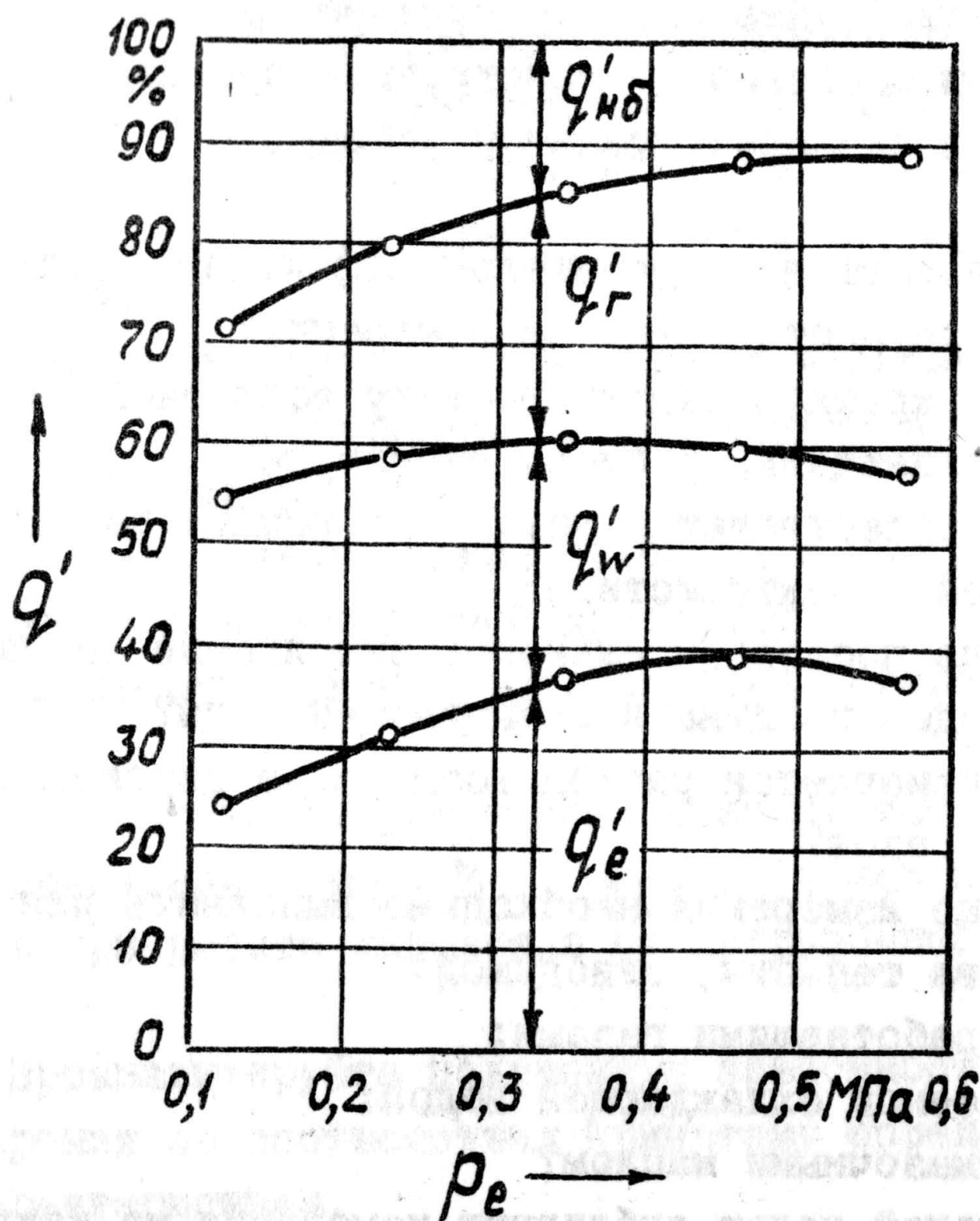


Рис. 7.2. Пример диаграммы теплового баланса дизеля при работе по нагрузочной характеристике

На шкале указывают буквенное обозначение и размерность величины. Буквенными обозначениями отмечают на поле диаграммы и соответствующие кривые, если кривых на нем более одной.

При построении кривых по данным экспериментов на график обязательно следует нанести экспериментальные точки. Когда кривые расположены близко друг к другу или пересекаются, экспериментальные точки изображают в виде значков различной формы.

К защите пояснительная записка представляется в шитом виде.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель испытания двигателя?
2. Дайте краткую техническую характеристику испытанного двигателя, расшифруйте его обозначение по ГОСТ.
3. Каковы особенности конструкции двигателя?
4. Состав экспериментальной установки и назначение ее элементов.
5. Что является потребителем эффективной мощности двигателя и как осуществляется ее измерение?
6. Дайте краткую характеристику топливной системы, систем смазки, охлаждения и пуска двигателя.
7. Как осуществляется установка режима работы двигателя по нагрузочной характеристике?
8. Какова последовательность выполнения операций при измерении расходов топлива и охлаждающей воды?
9. Как измеряется расход воздуха на двигатель и расход отработавших газов?
10. Какие измерения необходимо выполнить для определения количества теплоты, отводимой:
 - а) с отработавшими газами;
 - б) с пресной охлаждающей водой;
 - в) со смазочными маслами?
11. С какой целью дублируют измерения на каждом исследуемом режиме работы двигателя?
12. Что понимается под нагрузочной характеристикой и ка-

ков порядок проведения испытания по нагрузочной характеристике?

13. Как определяют эффективную мощность, среднее эффективное давление и крутящий момент двигателя? Что такое среднее эффективное давление?

14. Как вычислить по результатам испытания эффективный КПД двигателя и удельный эффективный расход топлива?

15. Как определяется механический КПД двигателя и каковы составляющие мощности механических потерь N_m ?

16. Что характеризует и как определяется индикаторный КПД двигателя?

17. Как изменяются давления и температуры по газовоздушному тракту и зачем необходимо измерять давление и температуру окружающей среды?

18. Что характеризует и как определяется удельный расход воздуха q_v ?

19. Какие свойства двигателя отражают величины α и η_h и как их определяют по результатам испытания?

20. Как определяется количество теплоты, вносимое в двигатель с топливом, и количество теплоты, преобразованное в полезную работу?

21. Как рассчитать по результатам испытаний Q_r , Q_w , Q_m , $Q_{нс}$ и какие тепловые потери входят в эти составляющие теплового баланса?

22. С какой целью, каким прибором и как выполняется запись развернутой индикаторной диаграммы?

23. Дайте определение среднего индикаторного давления P_i .

24. Что характеризуют и как определяются индикаторные показатели двигателя P_i , N_i , q_i , η_i ; как и почему они изменяются при работе двигателя по нагрузочной характеристике?

25. Проанализируйте полученную зависимость $N_e = f(p_e)$ с точки зрения ее соответствия принятому определению нагрузочной характеристики.

26. Объясните причины обнаруженного характера изменения C_T , q_u , q_e и η_e при работе двигателя по нагрузочной характеристике.

27. Как изменяется мощность механических потерь N_m и

механический КПД двигателя при работе по нагрузочной характеристике?

28. Поясните взаимосвязь кривых $g_e = f(p_e)$ и $\eta_e = f(p_e)$, а также кривых $g_i = f(p_e)$ и $\eta_i = f(p_e)$.

29. Проанализируйте характер и причины изменения C_B , g_B , α , η_H при работе двигателя по нагрузочной характеристике.

30. Объясните характер и причины изменения статей теплового баланса в зависимости от нагрузки.

31. Каково наибольшее значение максимального давления сгорания p_{χ} ; как изменяются p_{χ} и другие параметры индикаторной диаграммы при изменении нагрузки?

32. Дайте оценку погрешностей измерений основных параметров и показателей двигателя.

33. Дайте оценку технического состояния испытанного двигателя и уровня его основных параметров и показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОРДЕЕВ П.А. Испытания судовых двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1960.
2. КОРЕШЕВ Г.П., ЮРАС С.Ф. Теплотехнические измерения и электрические измерения неэлектрических величин: Методические указания к лабораторным работам. Л.: Изд. ЛКИ, 1984.
3. НЕЧАЕВ Н.П. и др. Оформление пояснительных записок и графической части домашних заданий, курсовых и дипломных проектов и работ: Методические указания. Л.: Изд. ЛКИ, 1984.
4. Единая система конструкторской документации. Общие правила выполнения чертежей. ГОСТ 2.301-80
ГОСТ 2.319-69. М.: Изд-во стандартов, 1984.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Цель лабораторных работ	3
2. Содержание и последовательность выполнения лабораторных работ	3
3. Краткое описание дизеля	6
4. Описание экспериментальной установки	10
5. Методика проведения испытания двигателя	14
5.1. Рабочие места при проведении испытания ..	14
5.2. Порядок проведения испытания	19
5.3. Испытание двигателя по нагрузочной характеристике	21
6. Методика обработки результатов испытания	21
6.1. Расчетные формулы	21
6.2. Обработка индикаторной диаграммы	26
6.3. Анализ погрешностей измерений	28
7. Указания к оформлению отчета о лабораторных работах	29
8. Контрольные вопросы	32
Литература	34