

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ. ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по аграрному техническому образованию  
в качестве учебно-методического пособия для студентов  
учреждений высшего образования по специальности  
6-05-0812-01 «Техническое обеспечение производства  
сельскохозяйственной продукции»*

В четырех частях

Часть 3

Минск  
БГАТУ  
2024

УДК 629.3(07)  
ББК 39.34я7  
Т65

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *Г. И. Гедроить* (практ. работы 1–17),  
кандидат технических наук, доцент *А. Ф. Безручко* (практ. работы 10–13),  
кандидат технических наук, доцент *А. В. Захаров* (практ. работы 10, 11),  
кандидат технических наук, доцент *И. И. Бондаренко* (практ. работы 5, 6),  
*С. В. Занемонский* (практ. работы 1–8),  
*В. В. Михалков* (практ. работы 9, 14–17),  
*А. Г. Белевич* (практ. работы 1–4),  
*Т. А. Варфоломеева* (практ. работы 2, 3)

Рецензенты:

кафедра «Тракторы» Белорусского национального технического  
университета (доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой *В. П. Бойков*);  
кандидат технических наук, главный конструктор  
ОАО «Минский тракторный завод» *Н. И. Зезетко*

**Тракторы** и автомобили. Практикум : учебно-методическое  
Т65 пособие : в 4 ч. / Г. И. Гедроить [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2024. –  
Ч. 3. – 148 с.  
ISBN 978-985-25-0259-7.

Предназначено для выполнения практических работ по учебной дисциплине  
«Тракторы и автомобили». Включает практические работы по контролю продуктов  
сгорания топлива, определению основных показателей эксплуатационных материалов  
для тракторов и автомобилей, изучению оборудования для испытания двигателей,  
построению характеристик двигателей, определению их показателей.

Для студентов учреждений высшего образования. Может быть использовано  
преподавателями и слушателями курсов повышения квалификации.

УДК 629.3(07)  
ББК 39.34я7

ISBN 978-985-25-0259-7 (ч. 3)  
ISBN 978-985-25-0196-5

© БГАТУ, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
Практическая работа № 1. Контроль состава продуктов сгорания жидких и газообразных топлив.....	6
Практическая работа № 2. Определение основных показателей качества автомобильных бензинов.....	17
Практическая работа № 3. Определение основных показателей качества дизельного топлива .....	31
Практическая работа № 4. Определение вязкостно-температурных свойств моторного масла.....	43
Практическая работа № 5. Определение температуры вспышки моторного масла в открытом тигле .....	51
Практическая работа № 6. Определение основных показателей качества пластичных смазок .....	59
Практическая работа № 7. Определение основных показателей качества тормозных жидкостей .....	68
Практическая работа № 8. Определение основных показателей качества низкозамерзающих охлаждающих жидкостей.....	77
Практическая работа № 9. Определение и построение скоростной и регуляторной характеристик топливного насоса высокого давления тракторного дизеля .....	85
Практическая работа № 10. Изучение испытательных стендов и контрольно-измерительной аппаратуры для определения основных показателей ДВС.....	92
Практическая работа № 11. Определение условных механических потерь ДВС.....	100
Практическая работа № 12. Определение и построение нагрузочной характеристики тракторного дизеля.....	105

Практическая работа № 13. Определение и построение регуляторной характеристики тракторного дизеля.....	112
Практическая работа № 14. Определение и построение регулировочной характеристики тракторного дизеля по давлению на впуске и выпуске.....	119
Практическая работа № 15. Определение и построение регулировочной характеристики тракторного дизеля по углу опережения начала подачи топлива.....	126
Практическая работа № 16. Определение теплового баланса ДВС.....	132
Практическая работа № 17. Индицирование ДВС .....	139
Список литературы.....	146

## ВВЕДЕНИЕ

Конструкции тракторов и автомобилей постоянно совершенствуются. Возрастает мощность двигателей, шире применяется электроника, ужесточаются экологические требования. Более сложная и технически совершенная техника требует квалифицированного технического обслуживания и ремонта с использованием качественных эксплуатационных материалов. Важно понимать их маркировку, подбирать рекомендуемые и альтернативные топливосмазочные материалы в соответствии с химмотологическими картами, оценивать свойства.

Также в связи с увеличением мощности и сложности конструкции актуальны вопросы по изучению закономерностей и процессов, происходящих в двигателях внутреннего сгорания. Эксплуатационные качества мобильных машин зависят от параметров и характеристик двигателей, режимов их работы.

Перечисленные выше вопросы изучаются в разделе «Эксплуатационные материалы. Основы теории и расчета двигателей» дисциплины «Тракторы и автомобили». Практикум предназначен для закрепления материала лекций, изучения оборудования, получения практических навыков, освоения методик получения и обработки данных, выполнения расчетов и анализа результатов, ознакомления студентов с нормативной документацией.

Каждая практическая работа содержит название, цель работы, информацию о материальном обеспечении, основные сведения по изучаемой теме, методику выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы.

Знание марок и сортов топлив, масел, смазочных и других эксплуатационных материалов, способов контроля их качества, закономерностей работы и расчета систем двигателей позволит инженерам сельскохозяйственного производства более эффективно эксплуатировать мобильную технику, применять современные энерго- и ресурсосберегающие технологии.

## Практическая работа № 1

### КОНТРОЛЬ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

*Цель работы:* изучить состав продуктов сгорания жидких и газообразных топлив, основные нормы и методы контроля токсичности продуктов сгорания.

*Материальное обеспечение:* методические указания.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с основными методами определения состава отработавших газов.
2. Изучить устройство и принцип работы газоанализатора «АСКОН-02.13».
3. Изучить методику определения вредных веществ и коэффициента избытка воздуха (лямбда-параметр) в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями.
4. Решить задачи.
5. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Горение топлива – физико-химический процесс окисления, который сопровождается интенсивным выделением теплоты и излучением света.

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) окислителем служит атмосферный воздух, содержащий 21 % кислорода по объему. При достаточном количестве воздуха происходит полное окисление углерода и водорода с образованием углекислого газа и водяного пара. Если для горения подается воздуха меньше, чем требуется для полного сгорания топлива, то образуются продукты неполного сгорания.

Теоретически топливо полностью сгорает при *стехиометрическом соотношении* топлива и окислителя. Стехиометрическое соотношение – численное соотношение между количествами реагирующих веществ, соответствующее уравнениям химических реакций между реагирующими веществами.

К продуктам полного сгорания относятся углекислый газ  $\text{CO}_2$ , водяной пар  $\text{H}_2\text{O}$ , сернистый газ  $\text{SO}_2$ ; к продуктам неполного сгорания – оксид углерода  $\text{CO}$ , водород  $\text{H}_2$ , несгоревшие углеводороды  $\text{C}_n\text{H}_m$  (например, метан  $\text{CH}_4$ ), углерод  $\text{C}$  (в виде сажи) и др.

Способ смесеобразования оказывает существенное влияние на процесс горения. Различают горение *кинетическое*, когда смесеобразование предшествует процессу горения, а скорость сгорания определяется скоростью химических реакций, и *диффузионное*, когда оба процесса происходят одновременно, а скорость сгорания определяется интенсивностью диффузии.

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания зависит от элементного состава топлива. Реакция полного горения для углекислого газа:



или



или



Для сернистого ангидрида:



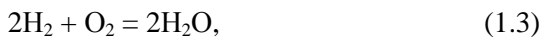
или



или



Для водяного пара:



или



или



Таким образом, теоретически необходимое массовое количество кислорода (кг) для полного сгорания 1 кг топлива равно

$$L_{\text{т.к}} = \frac{(2,67C + 8H + S - O)}{100}, \quad (1.4)$$

где C, H, S и O – содержание элементов в топливе, численно равное % по массе.

Массовое количество воздуха (кг), теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива:

$$L_{\text{т.в}} = \frac{(2,67C + 8H + S - O)}{23,2}. \quad (1.5)$$

Теоретически необходимое объемное количество воздуха  $L'_{\text{т.в}}$  (м<sup>3</sup>) плотностью  $\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$  (при температуре 0 °С и нормальном давлении 101,3 кПа):

$$L'_{\text{т.в}} = \frac{(2,67C + 8H + S - O)}{23,2 \cdot 1,293} = \frac{(2,67C + 8H + S - O)}{30}. \quad (1.6)$$

Действительное количество воздуха в реальных условиях сгорания топлива обычно несколько больше теоретического.



*Коэффициент избытка воздуха* – отношение действительно израсходованного количества воздуха для горения к теоретически необходимому для полного сгорания топлива, то есть

$$\alpha = \frac{L_{Д.В.}}{L_{Т.В.}}, \quad (1.7)$$

тогда

$$L_{Д.В.} = \alpha L_{Т.В.} \quad (1.8)$$

В ДВС с искровым зажиганием (бензиновых) на режимах нагрузки, близких к номинальной, топливо сгорает, как правило, при небольшом коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,05-1,15$ . На тех же режимах нагрузки у безнаддувных дизелей коэффициент избытка воздуха должен быть значительно выше и составляет  $\alpha = 1,40-1,70$ . Для дизелей с наддувом, близким к оптимальному, считается  $\alpha = 2,00$ . Газовые двигатели работают с  $\alpha = 1,03-1,08$ .

Современные газоанализаторы позволяют определять в газовой смеси количество: двуокиси углерода,  $\text{CO}_2$ ; кислорода,  $\text{O}_2$ ; окиси углерода и водорода,  $\text{CO} + \text{H}_2$ ; угарного газа,  $\text{CO}$ ; водорода,  $\text{H}_2$ ; метана,  $\text{CH}_4$  и других газов.

Различают газоанализаторы:

- химические, основанные на измерении пробы газа после избирательного поглощения анализируемого компонента;
- тепловые, основанные на изменении тепловых свойств определяемого компонента газовых смесей, являющихся мерой его концентрации;
- магнитные, основанные на измерении магнитных свойств кислорода (объемная магнитная восприимчивость и удельная или массовая магнитная восприимчивость);
- оптические, основанные на использовании оптических свойств анализируемой газовой смеси от изменения концентрации измеряемого компонента (спектральное поглощение, оптическая плотность, показатель преломления, спектральное излучение газовой смеси и др.).

Также применяются газоадсорбционные и газожидкостные хроматографы.

Газоанализатор «АСКОН-02.13» (рис. 1.1) измеряет содержание вредных веществ и коэффициент избытка воздуха ( $\lambda$ -параметр) в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями.



Рис. 1.1. Газоанализатор «АСКОН-02.13»

Технические характеристики газоанализатора «АСКОН-02.13» представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Технические характеристики и измеряемые параметры  
газоанализатора «АСКОН-02.13»

Параметр	Значения
Время прогрева, мин, не более	30
Время установления показаний СН, СО, СО <sub>2</sub> , с, не более	30
Время установления показаний О <sub>2</sub> , с, не более	60
Напряжение питания, В	12/220
Масса, кг	7,0
Габариты, мм	300×150×360
Срок службы кислородного датчика, лет	5
Окись углерода СО, %	0–7,0
Сумма углеводородов СН, ppm ( $1 \cdot 10^{-6}$ )	0–3000,0
Двуокись углерода СО <sub>2</sub> , %	0–16,0
Кислород О <sub>2</sub> , %	0–21,0
Частота вращения коленчатого вала двигателя, мин <sup>-1</sup>	0–1200 0–10 000

Параметр	Значения
Температура масла двигателя или охлаждающей жидкости, °С	20–100
Коэффициент избытка воздуха ( $\lambda$ -параметр)	0–2,0

Прибор состоит из самого измерительного блока (газоанализатора), газозаборного зонда (пробозаборник), пробоотборного шланга, блока фильтров грубой очистки (ФГУ и Ф), датчика частоты вращения, датчика температуры масла, кабеля для подключения к сети 220 В, кабеля для подключения питания +12 В.

Табло результатов измерения выхлопных газов и кнопки управления газоанализатором представлены на лицевой панели прибора (рис. 1.1). Автомобильный газоанализатор «АСКОН-02.13» измеряет и показывает концентрации окиси углерода CO (в %); суммы углеводородов СН (объемные доли, млн<sup>-1</sup>); двуокиси углерода CO<sub>2</sub> (в %).

### Методика испытаний

СТБ 2170–2011 «Транспортные средства, оснащенные двигателями с принудительным зажиганием. Выбросы загрязняющих веществ в отработавших газах. Нормы и методы измерения» и СТБ 2169–2011 «Транспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения» устанавливают нормы токсичности отработавших газов транспортных средств (ТС) категорий М и N (автобусы, легковые и грузовые автомобили) с бензиновыми (табл. 1.2) и дизельными двигателями.

Таблица 1.2

Нормы содержания оксида углерода (CO) и углеводородов (СН<sub>х</sub>) в отработавших газах бензиновых двигателей на заданных режимах

Экологический класс ТС по СТБ 1848–2009	Категория ТС	Частота вращения коленвала	Оксид углерода (CO), объемная доля, %	Углеводороды (СН <sub>х</sub> ), объемная доля, млн <sup>-1</sup>
I и ТС, для которых экологический класс не установлен	M <sub>1</sub> , N <sub>1</sub>	$n_{\min}$	3,5	1200
		$n_{\text{пов}}$	2,0	600
	M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	$n_{\min}$	3,5	2500
		$n_{\text{пов}}$	2,0	1000

Экологический класс ТС по СТВ 1848–2009	Категория ТС	Частота вращения коленвала	Оксид углерода (СО), объемная доля, %	Углеводороды (СН <sub>x</sub> ), объемная доля, млн <sup>-1</sup>
2	М <sub>1</sub> , N <sub>1</sub>	$n_{\min}$	1,0	400
		$n_{\text{пов}}$	0,6	200
	М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	$n_{\min}$	1,0	600
		$n_{\text{пов}}$	0,6	300
3	М <sub>1</sub> , N <sub>1</sub>	$n_{\min}$	0,5	100
		$n_{\text{пов}}$	0,3	
	М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	$n_{\min}$	0,5	200
		$n_{\text{пов}}$	0,3	
4	М <sub>1</sub> –М <sub>3</sub> , N <sub>1</sub> –N <sub>3</sub>	$n_{\min}$	0,3	100
		$n_{\text{пов}}$	0,2	
5	М <sub>1</sub> –М <sub>3</sub> , N <sub>1</sub> –N <sub>3</sub>	$n_{\min}$	0,15	200
		$n_{\text{пов}}$	0,1	

**Порядок подготовки газоанализатора «АСКОН-02.13» к работе:**

1. После подготовки автомобильного газоанализатора к работе проводят измерения содержания окиси углерода (СО), диоксида углерода (СО<sub>2</sub>) и кислорода (О<sub>2</sub>) в выхлопных газах автомобиля.

2. Перед измерением двигатель автомобиля прогревают до температуры не ниже рабочей температуры моторного масла или охлаждающей жидкости, указанных в инструкции по эксплуатации автомобиля, но не ниже 60 °С, для чего опускают датчик измерения температуры (термощуп) газоанализатора в картер двигателя автомобиля через отверстие масляного щупа или в расширительный бачок с охлаждающей жидкостью, переключив при этом индикатор прибора в состояние измерения температуры масла.

3. После прогрева двигателя автомобиль готовят к измерениям в следующем порядке:

- устанавливают рычаги переключения передач (избиратель передачи для автомобилей с автоматической коробкой передач) в нейтральное положение;
- затормаживают автомобиль стояночным тормозом и глушат двигатель;
- подключают датчик тахометра к высоковольтному проводу первого цилиндра;

– вводят пробоотборный зонд газоанализатора в выпускную трубу автомобиля на глубину не менее 300 мм от среза (при косом срезе выпускной трубы глубину отсчитывают от короткой кромки среза).

*Проведение измерений на автомобилях, не оснащенных системами нейтрализации отработавших газов:*

1. Перед проведением измерений проверяют и устанавливают нулевые показания газоанализатора на цифровых индикаторах «СО» и «СН» прибора, нажав кнопку «КАЛИБР».

2. Измерения проводят в следующем порядке:

– запускают двигатель; нажимая на педаль управления дроссельной заслонкой, увеличивают частоту вращения коленчатого вала двигателя до повышенной частоты ( $n_{пов}$ ) и работают в этом режиме не менее 15 с, переключив при этом функциональный индикатор автомобильного газоанализатора в состояние измерения частоты вращения коленвала и фиксируя показания частоты вращения;

– отпускают педаль управления дроссельной заслонкой; устанавливают минимальную частоту вращения вала двигателя ( $n_{х.х.min}$ ), фиксируют показания частоты вращения по прибору, включают насос прибора кнопкой «НАСОС» (при этом загорается рядом стоящий красный светодиод) и, не ранее чем через 30 с, измеряют содержание оксида углерода и углеводородов;

– устанавливают повышенную частоту вращения ( $n_{пов}$ ), фиксируют показания частоты вращения по прибору и, не ранее чем через 30 с, измеряют содержание оксида углерода и углеводородов.

*Проведение измерений на автомобилях, оснащенных системами нейтрализации отработавших газов:*

1. Перед проведением измерений проверяют и устанавливают нулевые показания автомобильного газоанализатора на цифровых индикаторах «СО», «СН» и «СО<sub>2</sub>», нажав кнопку «КАЛИБР».

2. Измерения проводят в следующем порядке:

– запускают двигатель; нажимая на педаль управления дроссельной заслонкой, увеличивают частоту вращения коленчатого вала двигателя до  $n_{пов}$ , фиксируют показания частоты вращения по прибору, выдерживают этот режим в течение 2–3 мин (при температуре окружающего воздуха 0 °С – 4–5 мин), включают насос прибора кнопкой «НАСОС» (при этом загорается рядом стоящий красный светодиод). После стабилизации показаний измеряют содержание СО, СН, СО<sub>2</sub>, считывая показания с соответствующих

цифровых индикаторов лицевой панели автомобильного газоанализатора; фиксируют значение содержания кислорода в отработавших газах, переключив при этом функциональный индикатор прибора в состояние измерения  $\lambda$ -параметра;

– устанавливают минимальную частоту вращения вала двигателя  $n_{x.x.min}$ , переключив при этом функциональный индикатор газоанализатора в состояние измерения частоты вращения коленвала. Не ранее чем через 30 с измеряют содержание оксида углерода и углеводородов, считывая показания с соответствующих цифровых индикаторов лицевой панели газоанализатора. Приступить к измерению на  $n_{min}$  мин следует

не позднее чем через 30 с после проверки в режиме  $n_{пов}$ .

### Варианты задач

1. В двигателе сгорело 12 кг жидкого топлива следующего элементного состава по массе: С = 78 %, Н = 21 %, S = 0,5 %, О = 0,2 %, W = 0,3 %. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,05$ . Определить удельную теплоту сгорания горючей смеси и общую массу продуктов сгорания.

2. В двигателе сгорело 18 кг жидкого топлива следующего элементного состава по массе: С = 84 %, Н = 15 %, S = 0,3 %, О = 0,5 %, W = 0,2 %. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,09$ . Определить удельную теплоту сгорания горючей смеси и общую массу продуктов сгорания.

3. В двигателе сгорело 22 кг жидкого топлива следующего элементного состава по массе: С = 85 %, Н = 14 %, S = 0,2 %, О = 0,3 %, W = 0,5 %. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,11$ . Определить удельную теплоту сгорания горючей смеси и общую массу продуктов сгорания.

4. В двигателе сгорело 8 кг жидкого топлива следующего элементного состава по массе: С = 76 %, Н = 2 %, S = 0,5 %, О = 0,3 %, W = 0,2 %. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,03$ . Определить удельную теплоту сгорания горючей смеси и общую массу продуктов сгорания.

#### *Пример решения задач*

В двигателе сгорело 18 кг жидкого топлива следующего элементного состава по массе: С = 81 %, Н = 18 %, S = 0,3 %, О = 0,5 %, W = 0,2 %. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,15$ .

Определить:

- удельную теплоту сгорания горючей смеси;
- общую массу продуктов сгорания.

*Решение*

1. Определяем высшую удельную теплоту сгорания:

$$Q_B = 339C + 1256H - 109(O - S), \quad (1.11)$$

$$Q_B = 339 \cdot 81 + 1256 \cdot 18 - 109(0,5 - 0,3) = 50\,050 \text{ (кДж/кг топлива)}.$$

2. Определяем низшую удельную теплоту сгорания:

$$Q_H = Q_B - 25(9H + W), \quad (1.12)$$

$$Q_H = 50\,050 - 25(9 \cdot 18 + 0,2) = 45\,990 \text{ (кДж/кг топлива)}.$$

3. Определяем теоретическое массовое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива:

$$L'_{TB} = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2}, \quad (1.13)$$

$$L'_{TB} = \frac{2,67 \cdot 81 + 8 \cdot 18 + 0,3 - 0,5}{23,2} = 15,5 \text{ (кг воздуха/кг топлива)}.$$

4. Определяем удельную теплоту сгорания горючей смеси:

$$Q_{TC} = \frac{Q}{1 + \alpha \cdot L'_{TB}}. \quad (1.14)$$

$$Q_{TC} = \frac{45\,990}{1 + 1,15 \cdot 15,5} = 2443 \text{ кДж/кг}.$$

5. Определяем массу продуктов сгорания:

$$M_{\text{общ}} = m + m \cdot \alpha \cdot L'_{\text{ГВ}}, \quad (1.15)$$

$$M_{\text{общ}} = 18 + 18 \cdot 1,15 \cdot 15,5 = 339 \text{ кг.}$$

Полученные результаты:

1. Удельная теплота сгорания горючей смеси:  $Q_{\text{ГС}} = 2443 \text{ кДж/кг.}$
2. Общая масса продуктов сгорания:  $M_{\text{общ}} = 339 \text{ кг.}$

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах определения состава отработавших газов.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Решение задач и выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое горение топлива?
2. Какие продукты образуются в результате полного и неполного сгорания топлива?
3. Что такое стехиометрическое соотношение между топливом и окислителем?
4. Что такое коэффициент избытка воздуха?
5. С каким коэффициентом избытка воздуха работают известные вам двигатели?
6. Какие средства измерения предназначены для измерения и контроля количественного состава газовых смесей?



## Практическая работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

*Цель работы:* изучить методы оценки основных показателей качества автомобильных бензинов.

*Материальное обеспечение:* методические указания, ассортимент бензинов, реактивы, ареометр, делительная воронка, стеклянный цилиндр, автоматический анализатор фракционного состава нефтепродуктов АФСА-2.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить устройство и принцип работы автоматического анализатора фракционного состава нефтепродуктов АФСА-2.
2. Изучить методику определения фракционного состава бензина с помощью анализатора АФСА-2.
3. Провести подготовку бензина и оборудования к испытаниям.
4. Определить основные показатели качества автомобильного бензина.
5. Построить кривую разгонки бензина.
6. По результатам испытаний произвести сравнение температуры начала кипения испытуемого бензина с требованиями стандартов или технических условий (ТУ) и дать заключение о пригодности к использованию исследуемого бензина.
7. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Качество нефтепродуктов нормируется стандартами (ГОСТ или ТУ). При выпуске заводом-изготовителем нефтепродукта, его показатели соответствуют стандарту и удостоверяются специальным документом – паспортом. Однако в процессе транспортировки и хранения возможно изменение качества нефтепродуктов, поэтому необходим систематический контроль их основных показателей на соответствие стандарту.

В случае отклонения бензинов от требований ГОСТ или СТБ 1656–2016 (табл. 2.1) использование их не допускается.

Таблица 2.1

Технические требования и нормы для автомобильных бензинов  
для эксплуатации в условиях умеренного климата

Наименование показателя	Предельные значения	
	минимальное	максимальное
1. Октановое число, определяемое по исследовательскому методу (RON):		
– для бензина АИ-92-К5-Евро	92,0	–
– для бензина АИ-95-К5-Евро	95,0	–
– для бензина АИ-98-К5-Евро	98,0	–
2. Октановое число, определяемое по моторному методу (MON):		
– для бензина АИ-92-К5-Евро	83,0	–
– для бензина АИ-95-К5-Евро	85,0	–
– для бензина АИ-98-К5-Евро	88,0	–
3. Массовая концентрация свинца, мг/л	–	5,0
4. Плотность при температуре 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	720,0	775,0
5. Массовая доля серы, мг/кг	–	10,0
6. Стойкость к окислению, мин	360	–
7. Концентрация смол (промытых растворителем), мг/100 мл	–	5,0
8. Коррозия медной пластинки (3 ч при температуре 50 °С)	Класс 1	
9. Внешний вид	Прозрачный и чистый	
10. Концентрация железа, мг/л	Отсутствует	
11. Давление насыщенных паров (VP), кПа	45,0	60,0

Качество применяемого на автомобиле бензина оказывает влияние на работу двигателя и его срок службы. Наличие непредельных углеводородов, смолистых включений и механических примесей приводит к интенсивному отложению смолистых веществ и образованию нагара на деталях двигателя, что вызывает перегрев и их повышенный износ, а иногда и прогорание поршней.

Наличие воды при низких температурах приводит к ее кристаллизации и засорению топливной аппаратуры, а также возможно разложение компонентов, что увеличивает коррозионную агрессивность бензина.

Топливо не должно содержать водорастворимых кислот и щелочей. Их наличие вызывает коррозию черных и цветных металлов.

Учет на нефтебазах, перевозка и оптовая закупка бензина производится в массовых единицах. Розничная продажа бензина и его отпуск при заправке баков транспортных средств производится в литрах. Нормы расхода бензина автотранспортом устанавливаются также в объемных единицах. Плотность топлива обязательно определяется при сдаче-приемке с целью учета его массы.

Различают абсолютную и относительную плотность вещества.

Абсолютная плотность – масса, содержащаяся в единице объема. За единицу плотности принимают массу  $1 \text{ м}^3$  при температуре  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Относительная плотность – безразмерная величина, отношение массы вещества к массе дистиллированной воды при температуре  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , взятой в том же объеме.

Плотность товарных марок бензинов нормируется стандартами при температуре  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Согласно стандартной методике плотность нефтепродуктов определяют при любой температуре, но обязательно приводят ее к стандартной температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , чтобы иметь возможность сопоставления результатов, полученных при разных температурах.

Если плотность измерялась не при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , а при другой температуре, то значение плотности при стандартных условиях вычисляют по следующей формуле:

$$\rho_{20} = \rho_t + \chi(t - 20), \quad (2.1)$$

где  $\rho_{20}$  – плотность нефтепродукта при стандартной температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_t$  – плотность нефтепродукта при температуре  $t$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$t$  – температура нефтепродукта в момент измерений плотности,  $^\circ\text{C}$ ;

$\chi$  – температурная поправка,  $\frac{\text{кг/м}^3}{^\circ\text{C}}$ .

Значения поправок на плотность приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Средние температурные поправки плотности нефтепродуктов

Замеренная плотность нефтепродуктов $\rho_t$ , (кг/м <sup>3</sup> )·10 <sup>3</sup>	Температурная поправка $\chi$ , $\frac{\text{кг/м}^3}{^\circ\text{C}}$	Замеренная плотность нефтепродуктов $\rho_t$ , (кг/м <sup>3</sup> )·10 <sup>3</sup>	Температурная поправка $\chi$ , $\frac{\text{кг/м}^3}{^\circ\text{C}}$
0,720–0,7299	0,000870	0,820–0,8299	0,000738
0,730–0,7399	0,000857	0,850–0,8399	0,000725
0,740–0,7299	0,000844	0,840–0,8499	0,000712
0,750–0,7299	0,000831	0,850–0,8599	0,000699
0,760–0,7299	0,000818	0,860–0,8699	0,000686
0,770–0,7299	0,000805	0,870–0,8799	0,000673
0,780–0,7299	0,000792	0,880–0,8899	0,000660
0,790–0,7299	0,000778	0,890–0,8999	0,000647
0,800–0,7299	0,000765	0,900–0,9099	0,000633
0,810–0,7299	0,000752	0,910–0,9199	0,000620

Непредельные углеводороды – нестойкие, легкоокисляемые соединения. Топливо, их содержащее, не подлежит длительному хранению. В бензинах количество непредельных углеводородов ГОСТ ограничивает по индукционному периоду.

Активные сернистые соединения (элементарная сера, сероводород, меркаптаны) корродируют металл даже при низких температурах, поэтому их присутствие в топливе не допускается по требованиям ГОСТа.

Испаряемость бензина оценивается двумя основными показателями: фракционным составом и давлением насыщенных паров.

Фракцией называется часть топлива, выкипающая в определенных температурных пределах. Содержание в топливе тех или иных фракций характеризует его фракционный состав. Фракционный состав топлива является одним из важнейших показателей его качества, который дает возможность оценить испаряемость топлива и выражает зависимость между температурой и количеством перегоняющегося при этой температуре топлива.

Кривая разгонки бензина представлена на рис. 2.1.

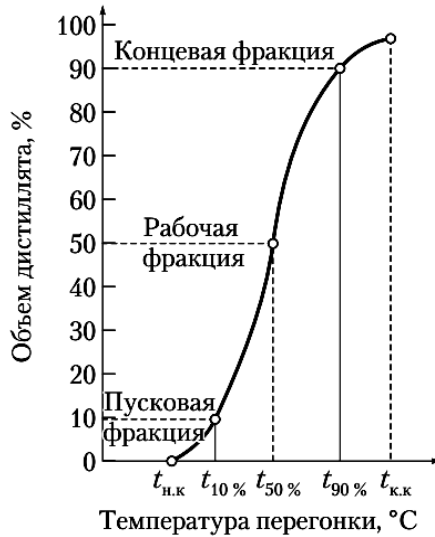


Рис. 2.1. Кривая разгонки автомобильного бензина

От фракционного состава бензина зависит запуск двигателя и время, затрачиваемое на его прогрев; перебои в работе двигателя, вызываемые образованием паровых пробок; приемистость двигателя; расход топлива и масла; мощность двигателя; образование углеродистых отложений.

Фракционный состав определяется по ГОСТ 31077–2002 и оценивается значениями температур начала перегонки, выкипания 10 %, 50 %, 90 % и конца кипения топлива. Для бензинов величина температуры перегонки 10 % характеризует его пусковые свойства, от которых зависит легкость пуска холодного двигателя. Чем ниже эта температура, тем легче и быстрее можно пустить холодный двигатель, так как большее количество бензина будет попадать в цилиндры в паровой фазе.

При высокой температуре перегонки 10 % бензина затрудняется пуск холодного двигателя вследствие того, что рабочая смесь будет слишком обеднена, так как основное количество бензина будет попадать в цилиндры в жидком виде. Кроме того, бензин в жидком виде разжижает масло, смывает его со стенок цилиндра и вызывает повышенный износ деталей двигателя.

После пуска двигателя интенсивность его прогрева, устойчивость работы на малой частоте вращения коленчатого вала и приемистость зависят главным образом от температуры перегонки 50 % бензина. Чем ниже эта температура, тем легче испаряются средние фракции бензина, обеспечивая поступление в еще непрогретый двигатель горючей смеси необходимого состава.

По температуре перегонки 90 % и температуре конца перегонки (кипения) судят о наличии в бензине тяжелых трудноиспаряемых (хвостовых) фракций, об интенсивности и полноте сгорания рабочей смеси, о мощности, развиваемой двигателем, количестве расходуемого топлива и износах двигателя. Для обеспечения полного испарения всего бензина, поступившего в цилиндры двигателя, желательно, чтобы эта температура была как можно более низкой.

По величине потерь при перегонке бензина судят о его склонности к испарению при транспортировании и хранении.

Температура выкипания 96 % является температурой конца кипения и свидетельствует о наличии тяжелых фракций, ухудшающих смесеобразование и экономичность, а также повышающих дымность и нагарообразование.

## **Методика испытаний**

### ***Оценка бензина по внешним признакам***

По цвету автомобильного бензина можно судить о содержании растворенных смолистых соединений. Автомобильный бензин обычно светло-желтого (лимонного) или с оттенком зеленоватого цвета, а его потемнение до темно-желтого цвета свидетельствует о повышенном содержании растворенных смолистых соединений. По прозрачности топлива можно судить о наличии эмульсионной воды (мутное топливо при температурах выше 0 °С содержит эмульсионную воду) и наличии механических примесей.

Содержание воды и механических примесей в бензине может быть оценено визуально на свет после взятия пробы или после отстаивания в отстойниках с градуированной ловушкой. Механические примеси в бензине можно обнаружить фильтрацией. Наличие воды и механических примесей в бензине не допускается.

### Определение плотности бензина

Плотность нефтепродуктов определяется ареометром (рис. 2.2, а) по ГОСТ 3900–2022. Температура испытуемого бензина не должна отклоняться от температуры окружающей среды более чем на  $\pm 5$  °С. Ареометр представляет собой полый стеклянный корпус 3 со встроенным термометром 5, снабженный снизу балластом 7 и сверху трубчатым стержнем 1, внутри которого помещена шкала плотности 2. Перед измерением ареометр должен быть чистым и сухим.

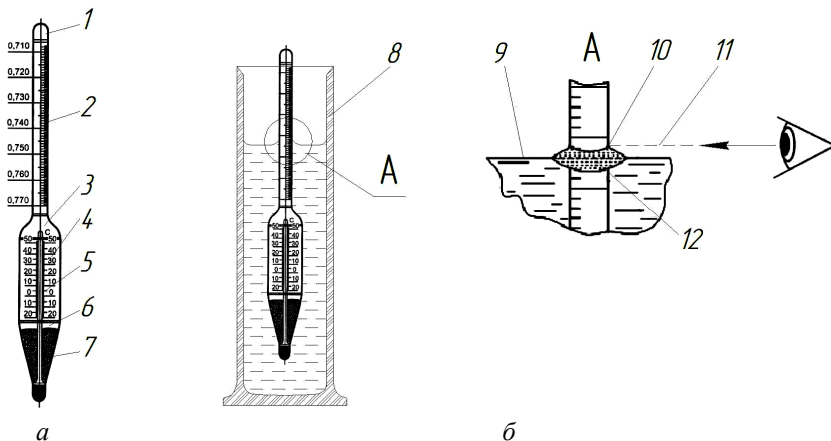


Рис. 2.2. Ареометр для нефтепродуктов со встроенным термометром АНТ-1 710–770 кг/м<sup>3</sup> (а) и определение плотности нефтепродуктов (б):  
1 – трубчатый стержень; 2 – шкала плотности; 3 – полый стеклянный корпус;  
4 – шкала температуры; 5 – встроенный термометр; 6 – связующее вещество;  
7 – балласт (свинцовая дробь);  
8 – стеклянный цилиндр с испытуемой пробой бензина;  
9 – горизонтальная плоскость поверхности жидкости;  
10 – точка считывания показания (верхний край мениска жидкости);  
11 – контрольная линия (уровень глаза); 12 – мениск

Плотность бензина следует определять в следующем порядке (рис. 2.2, б):

1. В стеклянный цилиндр 8 аккуратно по стенке налить испытуемый бензин, дать ему отстояться, чтобы выделились пузырьки воздуха и топливо приняло температуру окружающего воздуха.

2. Держа за верхний конец сухой и чистый ареометр, осторожно опустить его в цилиндр с топливом.

3. После того как колебания ареометра прекратятся и он примет температуру топлива, произвести отсчет показаний. Деление шкалы ареометра, совпадающее с верхним мениском топлива, показывает его плотность при температуре опыта. При отсчете показаний следить, чтобы ареометр не касался стенок цилиндра.

4. Одновременно с отсчетом показаний плотности по шкале ареометра зафиксировать температуру топлива по внутреннему термометру (для ареометров со встроенным в корпус термометром) или замерить ее отдельным термометром, вводя его в топливо рядом с ареометром.

5. Привести замеренную плотность к стандартному значению.

### ***Коррозия медной пластинки***

Качественной пробой на присутствие активных сернистых соединений в топливе служит испытание воздействия топлива на медную пластинку. Пластинку размером  $40 \times 10 \times 2$  из электролитной меди тщательно шлифуют, промывают спиртом и эфиром и высушивают на фильтровальной бумаге. Пластинку помещают в пробирку с испытуемым бензином, пробирку помещают в водяную баню и выдерживают 3 ч при температуре  $50^\circ\text{C}$ . Затем пластинку промывают. При наличии активных сернистых соединений пластинка покрывается черным, коричневым или серым налетом, тогда считается, что бензин не выдерживает испытания на медной пластинке.

### ***Определение содержания непредельных углеводородов***

Качественное содержание непредельных углеводородов проверяют обесцвечиванием перманганата калия ( $\text{KMnO}_4$ ). В пробирке смешивают 3 мл топлива и такое же количество водного раствора окислителя и дают отстояться. Если в топливе содержатся непредельные углеводороды, то фиолетово-розовая окраска водного слоя переходит в бурую или темно-желтую (может выпасть осадок  $\text{MnO}_2$ ).

### ***Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей***

В делительной воронке смешивают 50 мл испытуемого автомобильного бензина с равным количеством дистиллированной воды. Реакцию водной вытяжки проверяют действием индикаторов (метилоранж и фенолфталеин). При наличии кислот метилоранж окрашивает вытяжку в розовый цвет, при отсутствии кислот – в оранжевый. При наличии щелочей фенолфталеин окрашивает



вытяжку в красновато-малиновый цвет, при отсутствии щелочей вытяжка приобретает белесый оттенок. Наличие водорастворимых кислот и щелочей в топливе не допускается.

### ***Определение содержания фактических смол***

Количественное определение наличия фактических смол проводят сжиганием пробы на сферическом стекле диаметром 55–60 мм и глубиной сферы 4–5 мм. Сжигается 1 мл испытуемого бензина. Пипеткой проба наносится на сферическое стекло и поджигается. При наличии смол после сгорания пробы на стекле остаются желто-коричневые кольца. По диаметру пятна определяют содержание смолистых соединений в бензине (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Содержание фактических смол в зависимости от диаметра пятна сгорания бензина

Диаметр пятна, мм	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Количество фактических смол, мг/100 мл	4	11	20	32	43	56	70	85	102	120

### ***Определение фракционного состава бензина***

Для определения фракционного состава применяется анализатор для разгонки нефтепродуктов по ГОСТ 2177–99. Анализатор АФСА-2 (рис. 2.3) состоит из корпуса, блока управления, узла нагрева, охлаждающего устройства, приемной камеры.

Принцип действия анализатора АФСА-2 основан на измерении температуры кипения нефтепродукта и объема отгона фракций при автоматическом поддержании температуры охлаждающей бани и приемной камеры.

Анализатор АФСА-2 состоит из закрепленных на общем основании нагревателя, охлаждающей бани, приемной камеры, блока управления, компрессора и насоса системы охлаждения.

В горловину колбы с анализируемой пробой вставляется термодатчик ТСП (платиновый термометр сопротивления).

Охлаждающая баня закрывается крышкой, на которой установлены: термодатчик, датчик уровня охлаждающей жидкости и нагреватель.

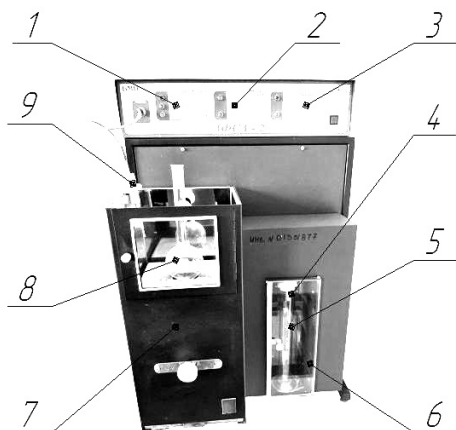


Рис. 2.3. Анализатор автоматический фракционного состава топлив АФСА-2:  
 1, 2, 3 – индикация работы охлаждающей бани, приемной камеры и блока нагрева;  
 4 – каплеприемник; 5 – приемный цилиндр для отогнанных фракций;  
 6 – приемная камера; 7 – блок нагрева; 8 – колба Энглера с пробой для перегонки;  
 9 – термодатчик ТСП

В приемной камере находятся механизм движения датчика уровня и радиатор охлаждения. Блок управления закреплен на кожухе анализатора.

Колбу с налитыми в нее 100 мл пробы (бензина) устанавливают на подставку нагревателя и соединяют с трубкой охлаждающей бани. Термодатчик с плотно прилегающей пробкой устанавливают в горловину колбы. В охлаждающей бане нужную температуру поддерживают подключением охлаждающего устройства (холодильника). Дальнейшая работа анализатора АФСА-2 происходит автоматически по программе, записанной в память компьютера.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Запустить программу разгонки. Для этого в главном меню выбрать пункт «РАЗГОНКА», подпункт «СТАРТ» или на панели инструментов нажать на пиктограмму «←→». Процесс подготовки к разгонке состоит из трех шагов.

2. На первом шаге подготовки к разгонке происходит тест оборудования анализатора АФСА-2.

3. Задание параметров разгонки происходит на втором шаге подготовки к разгонке. Параметры, доступные для изменения: температура

ванны, температура камеры, нагрев 1, время нагрева 1, нагрев 2, нагрев 3, объем регулирования, объем слежения, коэффициент конца кипения. Значения по умолчанию устанавливаются после загрузки файла параметрами разгонки. Затем любой параметр при необходимости можно изменить, нажав на соответствующую кнопку в виде стрелки.

4. Третий шаг – контроль термостата. После выхода анализатора на режим зазвучит сигнал (для этого необходимо присоединить к системному блоку компьютера колонки) и появится сообщение «ГОТОВО».

5. Четвертый шаг – определение уровня 100 мл. Налить 100 мл пробы топлива (по выбору преподавателя) в цилиндр и вставить его в приемную камеру. Нажать кнопку «ИЗМЕРИТЬ». Перелить в колбу для перегонки анализируемую пробу (бензин) из мерного цилиндра и установить цилиндр в приемную камеру. Установить колбу на плитку нагревателя и в горловину колбы вставить термодатчик. Нажать «ДАЛЕЕ». После этого начинается анализ.

6. После окончания анализа выписать необходимые параметры из таблицы на экране компьютера. Чтобы записать данные разгонки в память компьютера следует выбрать пункт меню *Файл* → *Сохранить файл разгонки* или нажать на пиктограмму «Дискета». Анализатор переходит в исходное состояние.

7. Для окончания работы нажать выключатель «Сеть» блока управления и отключить компьютер.

8. Остаток бензина из колбы перелить в малый мерный цилиндр и записать его объем.

9. Разность между 100 мл и суммой объемов дистиллята и остатка записать как потери при перегонке.

10. Привести температуры к нормальному барометрическому давлению:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{зам}} + C, \quad (2.2)$$

где  $C = 0,00012 \cdot (760 - P)(273 + T_{\text{зам}})$  – поправка на барометрическое давление;

$P$  – барометрическое давление, мм рт. ст.

В табл. 2.4 приведено приближенное значение поправок, вычисленных по приведенной формуле.

Таблица 2.4

Приближенное значение поправок на барометрическое давление

Температурные пределы, °С	Поправка в °С на 10 мм рт. ст. разности между 760 мм рт. ст. и фактическим барометрическим давлением в мм рт. ст.
11–30	0,35
31–50	0,38
51–70	0,40
71–90	0,42
91–11	0,45
111–130	0,47
131–150	0,50
151–170	0,52
171–190	0,54
191–210	0,57
211–230	0,59

Поправки прибавляются в случае, когда барометрическое давление ниже 750 мм рт. ст., и вычитаются, когда давление выше 770 мм рт. ст. При барометрическом давлении в пределах 750–770 мм рт. ст. поправки не вносят.

Полученные результаты по определению фракционного состава свести в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты опытов по определению фракционного состава испытуемого бензина

Начало перегонки	Температура, °С										Количество, %		
	Объем выкипания, %										Конец кипения	остатка в колбе	потерь
10	20	30	40	50	60	70	80	90					

Построить график перегонки бензина в координатах: количество отогнанного топлива (объемный процент), температура (градус Цельсия).

Результаты испытаний по оценке качества пробы бензина представить в виде табл. 2.6. Сделать выводы о соответствии бензина требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

Таблица 2.6

Результаты испытаний по определению качества автомобильного бензина

Показатель	Значение показателей		Отклонение показателей от ГОСТа или ТУ
	для испытываемого образца	по ГОСТу или ТУ	
1. Внешний вид		Прозрачный и чистый	
2. Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>		720,0–775,0	
3. Содержание воды, мг/кг		Отсутствует	
4. Содержание механических примесей, мг/кг		Отсутствует	
5. Содержание непредельных углеводородов, мг/кг		Отсутствует	
6. Содержание водорастворимых кислот и щелочей, мг/кг		Отсутствует	
7. Содержание фактических смол, мг/100 мл		<5,0	
8. Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)		Класс 1	
9. Фракционный состав			
– температура начала перегонки, °С,		<35	
– 10 % перегоняется при температуре, °С		<75	

Показатель	Значение показателей		Отклонение показателей от ГОСТа или ТУ
	для испытуемого образца	по ГОСТу или ТУ	
– 50 % перегоняется при температуре, °С		<120	
– 90 % перегоняется при температуре, °С		<190	
– конец кипения, °С		<210	
– остаток в колбе, %		<2,0	
– потери, %		<4,0	

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах оценки основных показателей качества автомобильного бензина.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. График перегонки испытуемого бензина.
5. Таблица результатов испытаний (табл. 2.6) и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какие эксплуатационные требования предъявляются к бензину?
2. Как наличие воды и механических примесей в бензине влияет на работу двигателя?
3. Для чего необходимо определять плотность бензина?
4. Что означает понятие «фракционный состав топлива»?
5. Как фракционный состав бензина влияет на экономичность работы двигателя?
6. Как непредельные углеводороды, находящиеся в бензине, влияют на качество топлива?

## Практическая работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

*Цель работы:* изучить методы оценки основных показателей качества дизельного топлива.

*Материальное обеспечение:* методические указания, ассортимент дизельного топлива, ареометр, вискозиметры ВПЖ-2 и ВПЖ-4, термостат «Термостат А2М», автоматический анализатор фракционного состава нефтепродуктов АФСА-2, автоматический регистратор температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А», спирт-ректификат, ацетон, дистиллированная вода.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить предъявляемые к дизельному топливу эксплуатационно-технические требования.
2. Изучить методику определения кинематической вязкости и температуры вспышки дизельного топлива, измерительное оборудование и приборы.
3. Провести подготовку дизельного топлива и оборудования к проведению испытаний.
4. Провести измерения вязкости дизельного топлива, вычислить кинематическую вязкость.
5. Определить температуру вспышки дизельного топлива в закрытом тигле.
6. Дать заключение о пригодности к использованию исследуемого дизельного топлива.
7. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Рабочий процесс в дизельных двигателях отличается от рабочего процесса в двигателях с принудительным воспламенением: в дизелях топливо смешивается с воздухом непосредственно в камере сгорания, при этом отсутствует принудительное зажигание рабочей смеси. Особенности смесеобразования и воспламенения

и обуславливают отличие роли и значения некоторых показателей дизельного топлива от бензина.

В случае отклонения дизельного топлива от требований ГОСТ или СТБ 1658–2015 (табл. 3.1) использование его не допускается.

Таблица 3.1

Технические требования и нормы для дизельного топлива ДТ-Л-К5, Сорт С и ДТ-З-К5, Сорт F для эксплуатации в условиях умеренного климата

Наименование показателя	Норма по ТР ТС 013/2011	Значение по СТБ 1658–2015
1. Цетановое число, не менее	47,0	51,0
2. Цетановый индекс, не менее	–	46,0
3. Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	–	820,0–845,0
4. Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	8,0	8,0
5. Содержание серы, мг/кг, не более	10,0	10,0
6. Температура вспышки в закрытом тигле, °С	не ниже 30	выше 55
7. Коксуемость 10%-го остатка, %, не более	–	0,30
8. Массовая доля золы, %, не более	–	0,01
9. Содержание воды, мг/кг, не более	–	200
10. Содержание механических примесей, мг/кг, не более	–	24
11. Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)	–	Класс 1
12. Стойкость к окислению, г/м <sup>3</sup> , не более	–	25
13. Смазывающая способность: – скорректированный диаметр пятна износа (WSD 1,4) при 60 °С, мкм, не более	460	460
14. Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	–	2,000–4,500
15. Концентрация смол, мг/100 мл, не более	–	30,0



Наименование показателя	Норма по ТР ТС 013/2011	Значение по СТБ 1658–2015
<b>16. Фракционный состав</b>		
– при 250 °С перегоняется, % об., менее	–	65
– при 350 °С перегоняется, % об., не менее	–	85
– 95 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	360	360

Важнейшим показателем дизельного топлива является цетановое число (ЦЧ), характеризующее самовоспламеняемость топлива и зависящее от его химического состава.

Плотность дизельного топлива обязательно определяется при сдаче-приемке с целью учета массы нефтепродуктов.

Испаряемость дизельного топлива оценивается его фракционным составом. В дизельных двигателях смесеобразование происходит за 20°–40° поворота коленчатого вала в течение всего лишь 0,001–0,004 с, то есть время смесеобразования в дизелях примерно в 10–15 раз меньше, чем в карбюраторных двигателях. При таком ограниченном времени получение однородной качественной горючей смеси возможно только при достаточно хороших распыливании и испаряемости топлива.

Применение дизельного топлива с утяжеленным фракционным составом вследствие плохой его испаряемости обуславливает несвоевременное воспламенение и плохое сгорание горючей смеси, дымный выпуск, смывание масла со стенок цилиндров и, следовательно, повышенный износ цилиндропоршневой группы, увеличение образования отложений и ухудшение топливной экономичности двигателя.

Применение дизельного топлива со слишком облегченным фракционным составом, то есть состоящего из углеводородов, плохо самовоспламеняющихся, затрудняющих пуск и определяющих жесткую работу двигателя, также недопустимо. Поэтому дизельное топливо имеет вполне определенный фракционный состав.

В результате фракционной разгонки получают температуры выкипания 50 % и 96 % дизельного топлива. Температура выкипания 50 % определяет наличие в топливе пусковых фракций, а 96 % – является температурой конца кипения и свидетельствует о наличии в нем тяжелых фракций, ухудшающих смесеобразование, повышающих дымность выпускных газов, нагарообразование и снижающих топливную экономичность двигателя.

Вязкость определяют для жидких нефтепродуктов, напряжение сдвига которых пропорционально скорости деформации, то есть для ньютоновских жидкостей. Вязкость их не зависит от касательного напряжения и градиента скорости. Различают динамическую и кинематическую вязкости.

Динамическая вязкость, или коэффициент динамической вязкости – это отношение действующего касательного напряжения к градиенту скорости.

Единицей динамической вязкости в системе СИ является паскаль-секунда (Па·с). На практике применяют МПа·с =  $10^{-3}$  Па·с.

Кинематическая вязкость – это отношение динамической вязкости жидкости к плотности при той же температуре.

Кинематическая вязкость служит мерой сопротивления жидкости течению под влиянием гравитационных сил.

Метод определения кинематической вязкости заключается в измерении времени истечения определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы тяжести.

В системе СИ единицей кинематической вязкости является  $\text{м}^2/\text{с}$ . На практике применяется меньшая единица –  $1 \text{ мм}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а также сантистокс ( $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$ ).

Температура вспышки – это минимальная температура, при которой пары топлива, нагреваемые в закрытом тигле, образуют с окружающим воздухом горючую смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.

Температура вспышки характеризует огнеопасность нефтепродукта при его транспортировании, хранении и заправке. Чем выше температура вспышки, тем меньше пожарная опасность топлива.

Определение температуры вспышки используют для оценки качества нефтепродуктов и для классификации производства, помещений и установок по степени пожарной опасности.

Сущность метода заключается в определении самой низкой температуры топлива, при которой в условиях испытания над его поверхностью образуется смесь паров с воздухом, которая вспыхивает при поднесении пламени, но не способна к дальнейшему горению.

### **Методика испытаний**

Методика определения плотности топлива, его фракционного состава, содержания непредельных углеводородов, активных сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей, фактических смол описана в практической работе № 2.

#### ***Оценка дизельного топлива по внешним признакам***

По цвету дизельного топлива можно судить о содержании растворенных смолистых соединений. Дизельное топливо обычно темно-желтого или светло-коричневого цвета и его потемнение до более темных оттенков свидетельствует о повышенном содержании растворенных смолистых соединений. По прозрачности топлива можно судить о наличии эмульсионной воды (мутное топливо при температурах выше 0 °С содержит эмульсионную воду) и наличии механических примесей.

#### ***Определение кинематической вязкости дизельного топлива***

Сущность определения кинематической вязкости заключается в установлении времени истечения определенного объема нефтепродукта через капилляр вискозиметра под действием собственной силы тяжести.

Для определения кинематической вязкости используются стеклянные капиллярные вискозиметры ВПЖ-2, ВПЖ-4 и др.

Вискозиметр ВПЖ-4 (рис. 3.1) представляет собой стеклянную U-образную трубку, в колено 3 которой впаян капилляр 5, переходящий в резервуар 4 с двумя расширениями. Между расширениями резервуара 4 имеется метка  $M_1$ , а внизу нижнего расширения – метка  $M_2$ .

В верхней части колена 2 есть небольшая отводная трубка 1, на которую, при заполнении вискозиметра нефтепродуктом, надевается резиновая трубка для груши. В нижней части оба колена соединяются с помощью расширения, служащего резервуаром для стока испытуемого нефтепродукта.

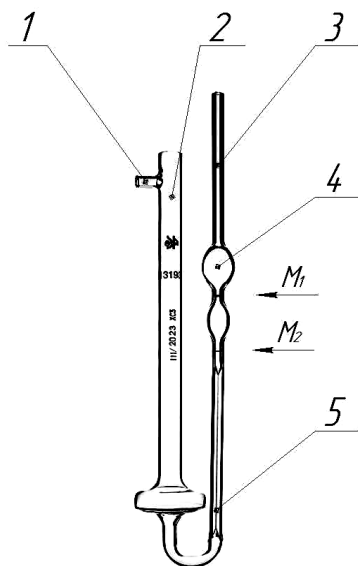
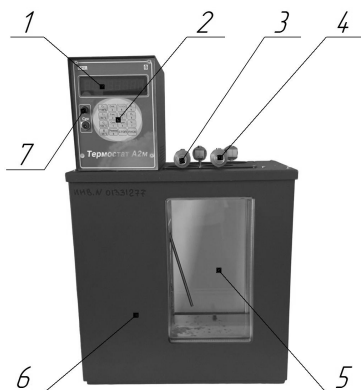


Рис. 3.1. Капиллярный вискозиметр ВПЖ-4:  
 1 – отводная трубка (для груши); 2, 3 – колено;  
 4 – резервуар с верхним и нижним расширениями; 5 – капилляр;  
 $M_1$  и  $M_2$  – верхняя и нижняя метки

Вискозиметры выпускаются с капиллярами различного диаметра. Каждый вискозиметр определяет вязкость в определенном диапазоне. В набор из десяти вискозиметров ВПЖ-2 входят вискозиметры с диаметром капилляров от 0,34 до 4,66 мм. Набор вискозиметров ВПЖ-4 состоит из девяти вискозиметров с диаметром капилляров от 0,37 до 3,55 мм. Вязкость дизельного топлива составляет 2,0–4,5 мм<sup>2</sup>/с, следовательно, для проведения измерений следует использовать вискозиметр ВПЖ-4 с диаметром капилляра 0,42 мм и диапазоном измерений вязкости 1,0–5,0 мм<sup>2</sup>/с или ВПЖ-4 с диаметром капилляра 0,62 мм и диапазоном измерений вязкости 2,0–10,0 мм<sup>2</sup>/с.

На резервуаре или колене вискозиметра указывают тип стекла, дату изготовления, номер вискозиметра и диаметр капилляра. Каждый вискозиметр снабжен выпускным аттестатом (паспортом), в котором указан внутренний диаметр капилляра и постоянная вискозиметра.

Для поддержания заданной температуры нефтепродуктов при определении вязкости применяют термостат или термостатирующие устройства. Устройство термостатирующее измерительное «Термостат А2М» (рис. 3.2) предназначено для создания термостатированной рабочей среды и измерения ее температуры в лабораторных условиях.



*a*



*б*

Рис. 3.2. Устройство термостатирующее измерительное «Термостат А2М»:  
*a* – внешний вид; *б* – клавиатура управления;  
 1 – экран; 2 – клавиатура управления; 3, 4 – держатели для двух вискозиметров;  
 5 – рабочая зона (термостатируемая ванна) с маслом ПМС-100  
 или вазелиновым маслом; 6 – нагревательный блок;  
 7 – два независимых секундомера

Устройство термостатирующее измерительное «Термостат А2М» отображает полученные показатели температуры, вводимые данные и рассчитанные показатели вязкости. «Термостат А2М» обладает индикацией работы нагревателя и звуковой сигнализацией для различных режимов.

«Термостат А2М» выполняет автоматическое определение кинематической вязкости исследуемых нефтепродуктов по ГОСТ 33–2000 или ИСО 3104–94. Расчет вязкости нефтепродуктов может проходить одновременно для двух вискозиметров. Определение кинематической вязкости нефтепродуктов проходит с предварительным заданием калибровочных постоянных вискозиметров, а также с измерением времени истечения (по независимым секундомерам).

Техническая характеристика «Термостат А2М» представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Техническая характеристика устройства термостатирующего «Термостат А2М»

Показатели	Значения
Габаритные размеры, мм: – термостата; – рабочей зоны	610×480×230 150×120×280
Масса устройства не более, кг	20
Питание	сеть 230 В 50 Гц
Потребляемая мощность не более, кВт	2
Теплоноситель (рабочая жидкость)	Масло ПМС-100 или вазелиновое масло – 20 л (в комплект поставки не входит)
Диапазон измерения и поддержания температуры среды, °С	от +20 до +100

Перед определением вязкости вискозиметр должен быть тщательно промыт и высушен. Вискозиметр вначале необходимо промыть несколько раз бензином, а затем растворителем. После растворителя промыть водой и залить не менее чем на 5–6 ч хромовой смесью. После этого вискозиметр промывают дистиллированной

водой и сушат. Для более быстрой сушки вискозиметр можно промыть спиртом-ректификатом или ацетоном.

Порядок отбора пробы испытуемого продукта вискозиметрами ВПЖ-2 и ВПЖ-4 одинаков (рис. 3.3).

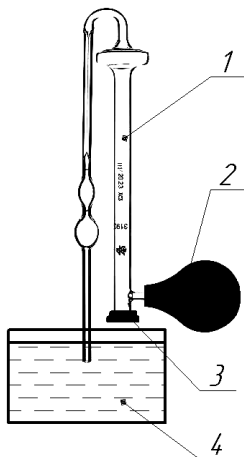


Рис. 3.3. Прибор для измерения вязкости нефтепродуктов:  
1 – капиллярный вискозиметр; 2 – груша; 3 – пробка;  
4 – емкость с испытуемым нефтепродуктом

Для этого испытуемый продукт наливают в емкость (стеклянный стаканчик или фарфоровый тигель) 4 и опускают в него конец колена вискозиметра 1 с капилляром. Отверстие другого колена вискозиметра закрывают пробкой 3 или пальцем и через резиновую трубку, надетую на отводную стеклянную трубку, резиновой грушей 2 засасывают испытуемый продукт в вискозиметр до метки  $M_2$ . Во время засасывания продукта следят за тем, чтобы не образовывалось пузырьков воздуха, разрывов и пленок.

После заполнения обоих расширений вискозиметра его вынимают из емкости 4 с нефтепродуктом и быстро переворачивают в нормальное положение. Снимают с внешней стороны конца колена избыток испытуемого нефтепродукта и надевают на него резиновую трубку. Вискозиметр устанавливают так, чтобы верхнее расширение резервуара было ниже уровня жидкости в термостате. Правильность установки вискозиметра проверяют отвесом в двух

взаимно перпендикулярных плоскостях. После выдержки вискозиметра в термостате «Термостат А2М» (см. рис. 3.2) не менее 15 мин при заданной температуре ( $\pm 0,1$  °С) засасывают нефтепродукт в колено примерно до 1/3 верхнего расширения. Термостатирующую жидкость во время определения перемешивают.

С помощью секундомера определяют время истечения испытуемого нефтепродукта от метки  $M_1$  до метки  $M_2$  (должно находиться в пределах 200–600 с), производя отсчеты при совмещении мениска нефтепродукта с указанными метками. Определение времени истечения повторяют не менее четырех раз. Если время истечения нефтепродукта от метки  $M_1$  до метки  $M_2$  менее 200 с, следует использовать вискозиметр с капилляром меньшего диаметра.

По полученным результатам находят среднее арифметическое и сравнивают с ним все отсчеты. Во внимание принимаются только те отсчеты, которые отличаются от среднего арифметического не более чем на  $\pm 0,5$  %.

При расхождении результатов отсчетов на большее значение измерения повторяют. Кинематическую вязкость  $\nu$  испытуемого нефтепродукта вычисляют по формуле, мм<sup>2</sup>/с:

$$\nu = C \tau,$$

где  $C$  – постоянная вискозиметра, мм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup> (дается в паспорте вискозиметра);

$\tau$  – среднее арифметическое времени истечения нефтепродукта в вискозиметре, с.

Кинематическую вязкость нефтепродукта вычисляют с точностью до четвертой значащей цифры, например: 1,255; 16,48; 190,2; 1735.

### ***Определение температуры вспышки дизельного топлива в закрытом тигле***

Температуру вспышки дизельного топлива в закрытом тигле определяют с помощью автоматического регистратора температуры вспышки «Вспышка-А» в режиме «закрытый тигель» по ГОСТ 6356–75, используя при этом вкладыши с глухой верхней крышкой. Подробно методика определения температуры вспышки нефтепродуктов описана в практической работе № 5.



Результаты испытаний по оценке качества пробы дизельного топлива представить в виде табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты испытаний по определению качества дизельного топлива

Показатели	Значение показателей		Отклонение показателей от ГОСТа или ТУ
	для испытуемого образца	по ГОСТу или ТУ	
1. Внешний вид		Прозрачный и чистый	
2. Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>		820,0–845,0	
3. Содержание воды, мг/кг		<200	
4. Содержание механических примесей, мг/кг		<24	
5. Содержание непредельных углеводородов, мг/кг		Отсутствует	
6. Содержание водорастворимых кислот и щелочей, мг/кг		Отсутствует	
7. Концентрация фактических смол, мг/100 мл		<30	
8. Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с		2,000–4,500	
9. Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)		Класс 1	
10. Температура вспышки в закрытом тигле, °С		>55	

Показатели	Значение показателей		Отклонение показателей от ГОСТа или ТУ
	для испытуемого образца	по ГОСТу или ТУ	
<b>11. Фракционный состав</b>			
– при температуре 250 °С перегоняется, % об.		<65	
– при температуре 350 °С перегоняется, % об.		>85	
– 95 % об. перегоняется при температуре, °С		<360	

Сделать выводы о пригодности к хранению и транспортировке данного образца дизельного топлива и его соответствии требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах определения вязкости и температуры вспышки дизельного топлива.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Таблица результатов испытаний (табл. 3.3) и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какие эксплуатационные требования предъявляются к дизельному топливу?
2. Что характеризует цетановое число дизельного топлива?
3. Как оценивается испаряемость дизельного топлива?
4. В каком порядке следует проводить опыты по определению кинематической вязкости дизельного топлива?
5. Как на работу двигателя влияет фракционный состав дизельного топлива?
6. На какие эксплуатационные свойства влияет температура вспышки дизельного топлива в закрытом тигле?

## Практическая работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА

*Цель работы:* изучить методы определения вязкостно-температурных свойств моторного масла.

*Материальное обеспечение:* методические указания, образец моторного масла, вискозиметры ВПЖ-2 и ВПЖ-4, устройство термостатирующее измерительное «Термостат А2М», спирт-ректификат, ацетон, дистиллированная вода.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить предъявляемые к моторному маслу эксплуатационно-технические требования.
2. Провести подготовку моторного масла и оборудования к проведению испытаний.
3. Провести измерения кинематической вязкости моторного масла, вычислить индекс вязкости моторного масла.
4. Определить индекс вязкости по номограмме.
5. Построить график вязкостно-температурной характеристики моторного масла и сделать выводы об уровне вязкостно-температурных свойств исследуемого моторного масла.
6. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Условия работы масла в автомобильных двигателях являются тяжелыми, так как масла подвергаются действию температур в широком диапазоне от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , больших давлений и нагрузок, достигающих до 100 МПа.

Большая часть поверхности масла контактирует с кислородом воздуха, масло подвергается воздействию газов, прорывающихся из камеры сгорания в картер, а также контактирует с различными металлами, водой и разбавляется топливными фракциями, не успевшими сгореть.

Воздействие горячих газов и нагретых поверхностей на пленку масла на деталях цилиндра-поршневой группы приводит к образованию

высокотемпературных углеродистых отложений (нагаров и лаков). Это особенно опасно для поршневых канавок, ведь при их закоксовывании теряется подвижность поршневых колец, что неминуемо приведет к задиру цилиндра, поломке поршневых колец и выходу двигателя из строя.

Вязкость масла изменяется в обратной зависимости от температуры, при этом интенсивность изменения вязкости у различных моторных масел неодинакова и зависит от их химического (углеводородного) состава. Характер зависимости вязкостно-температурной кривой (рис. 4.1) оценивается индексом вязкости (ИВ).

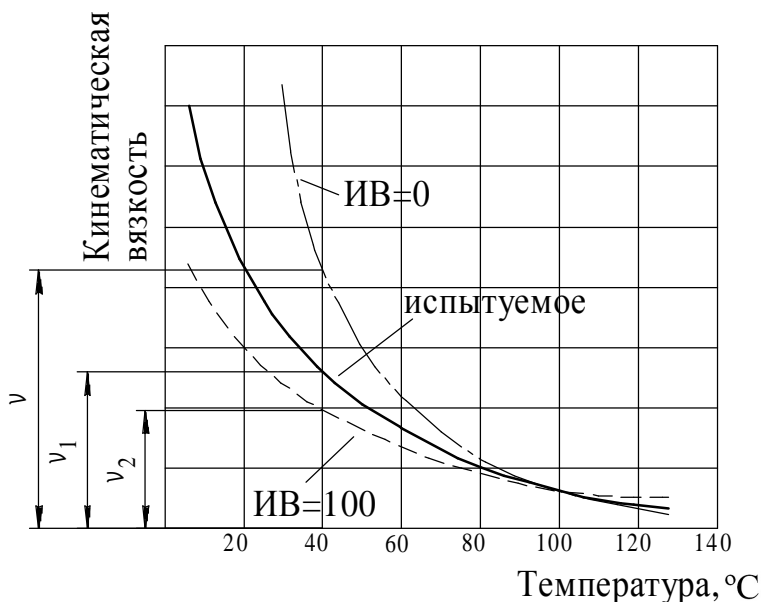


Рис. 4.1. Вязкостно-температурные кривые испытуемого и эталонных масел

Индекс вязкости характеризует пологость вязкостно-температурной кривой.

Оценивают ИВ масел в условных единицах. По ГОСТ 25371–2018, определяют способом сравнения кривой испытуемого масла с аналогичными кривыми двух серий эталонных масел. Масла первой серии обладают пологой вязкостно-температурной кривой, их ИВ принят за 100 единиц; масла второй серии обладают крутой

вязкостно-температурной кривой, их ИВ принят за 0 единиц. При сравнении по указанному методу эталонные масла первой и второй серии выбираются с вязкостями при 100 °С, равными вязкости испытуемого масла при 100 °С.

Вязкость моторных масел с высоким ИВ при изменении температуры изменяется незначительно, вязкость масел с низким ИВ – значительно. Моторные масла с более высоким значением ИВ обладают лучшими технико-эксплуатационными свойствами. По ГОСТ 17479.1–2015, ИВ незагущенных моторных масел должен быть не менее 90 единиц, загущенных (всесезонных) – не менее 115 единиц. У лучших образцов масел значения ИВ составляют около 150 единиц.

Для повышения ИВ в моторные масла добавляют вязкостные присадки, представляющие собой высокомолекулярные соединения; процесс обычно называют «загущением», а масла с вязкостными присадками – загущенными. Загущенные масла являются всесезонными. Механизм действия присадки следующий: сравнительно небольшое количество полимера мало меняет вязкость масла при низкой температуре, так как молекулы присадки свернуты в тугие спирали небольшого объема. При рабочей температуре спирали расправляются, занимая больший объем, увеличивается сопротивление течению, вязкость повышается. Таким образом, правильно подобранная присадка позволяет применить базовое масло с пониженной вязкостью при низких температурах запуска двигателя, несколько повышая вязкость при нормальных рабочих температурах масла и обеспечивая тем самым надежное смазывание узлов трения.

Загущенные масла обладают хорошими вязкостно-температурными свойствами и текучестью при низких температурах окружающей среды, способствуют легкому, быстрому и надежному запуску двигателя в холодное время года, образуют небольшое количество нагара и обеспечивают минимальные потери мощности на трение, что улучшает топливную экономичность двигателя.

Особенно следует выделить то, что применение загущенных масел позволяет обеспечивать так называемый холодный пуск дизеля (пуск без предварительного разогрева масляной ванны двигателя) при низких температурах окружающей среды. Холодный пуск

дизелей значительно повышает эффективность использования автотракторной техники за счет снижения простоев из-за трудоемкости пусковых операций, снижает энергозатраты на запуск дизеля, повышает культуру обслуживания техники. Разработка загущенных масел с высокими эксплуатационными свойствами является одним из основных направлений улучшения пусковых качеств двигателей, особенно дизельных.

### Методика испытаний

#### *Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости*

Индекс вязкости моторного масла определяют в соответствии с ГОСТ 25371–2018 «Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости».

Кинематическую вязкость моторного масла определяют при температуре 40 °С и 100 °С. Порядок определения кинематической вязкости стеклянным капиллярным вискозиметром (ВПЖ-2 или ВПЖ-4) такой же, как и для дизельного топлива (практическая работа № 3).

Индекс вязкости вычисляется по следующим формулам:

$$\text{ИВ} = \frac{v - v_1}{v - v_2} 100; \quad (4.1)$$

если  $v_3 = v - v_2$ , тогда

$$\text{ИВ} = \frac{v - v_1}{v_3} 100, \quad (4.2)$$

где  $v$  – кинематическая вязкость эталонного масла при 40 °С с ИВ, равным 0, обладающего при 100 °С такой же кинематической вязкостью, что и испытуемое масло, мм<sup>2</sup>/с (сСт);

$v_1$  – кинематическая вязкость испытуемого масла при 40 °С, мм<sup>2</sup>/с (сСт);

$v_2$  – кинематическая вязкость эталонного масла при 40 °С с ИВ, равным 100, обладающего при 100 °С такой же кинематической вязкостью, что и испытуемое масло, мм<sup>2</sup>/с (сСт).

Значения  $\nu$  и  $\nu_2$  или  $\nu_3$  берутся из табл. 4.1 с ориентацией на значение кинематической вязкости испытуемого масла при 100 °С.

При расчете полученное значение ИВ округляют до целого числа.

Таблица 4.1

Значения кинематических вязкостей масел при 100 °С, мм<sup>2</sup>/с (сСт)

Кинематическая вязкость	$\nu$	$\nu_3$	$\nu_2$	Кинематическая вязкость	$\nu$	$\nu_3$	$\nu_2$
6,00	59,97	21,78	38,19	11,2	179,4	81,69	97,71
6,20	61,52	21,37	40,15	11,4	184,9	84,7	100,2
6,40	65,18	23,04	42,14	11,6	190,4	87,6	102,8
6,60	69,16	24,92	44,24	11,8	196,2	90,8	105,4
6,80	73,48	27,04	46,44	12,0	201,9	93,9	108,0
7,00	78,00	29,43	48,57	12,2	207,8	97,1	110,7
7,20	82,39	31,70	50,69	12,4	213,6	100,3	113,3
7,40	96,66	43,78	52,88	12,6	219,6	103,6	116,0
7,60	91,04	35,95	55,09	12,8	225,7	107,0	118,7
7,80	95,43	38,12	57,31	13,0	231,9	110,4	121,5
8,00	100,0	40,40	59,60	13,2	238,1	113,9	124,2
8,20	104,6	42,71	61,89	13,4	244,3	117,3	127,0
8,40	109,2	45,02	64,18	13,6	250,6	120,8	129,8
8,60	113,9	47,42	66,48	13,8	257,0	124,4	132,6
8,80	118,5	49,71	68,79	14,0	263,3	127,9	135,4
9,00	123,3	52,20	71,10	14,2	269,8	131,6	138,2
9,20	128,0	54,58	73,42	14,4	276,3	135,3	141,0
9,40	132,8	57,37	75,43	14,6	283,0	139,1	143,9
9,60	137,7	59,62	78,08	14,8	289,7	142,9	146,8
9,80	142,7	62,24	80,46	15,0	296,5	146,8	149,7
10,0	147,7	64,83	82,87	15,2	303,4	150,8	152,6
10,2	152,9	67,6	85,30	15,4	310,3	154,7	155,6
10,4	158,0	70,28	87,72	15,6	317,5	158,9	158,6
10,6	163,2	73,01	90,19	15,8	324,6	163,0	161,6
10,8	168,5	75,85	92,65	16,0	331,9	167,3	164,6
11,0	173,9	78,71	95,19				

### **Пример расчета индекса вязкости**

В результате проведенных испытаний было установлено, что вязкость испытуемого моторного масла при 40 °С равна 61,58 мм<sup>2</sup>/с, а при 100 °С – 8 мм<sup>2</sup>/с.

По табл. 4.3 находят:  $v = 100$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_3 = 40,4$  мм<sup>2</sup>/с.

Полученные данные подставляют в уравнение (4.2):

$$\text{ИВ} = \frac{100 - 61,58}{40,4} 100 = 95,09.$$

Индекс вязкости округляют до целого числа: ИВ = 95.

### **Определение индекса вязкости по номограмме**

Индекс вязкости может быть определен по специальной номограмме (рис. 4.2) с точностью, достаточной для практических целей. Для этого определяют кинематическую вязкость испытуемого масла при 50 °С и 100 °С, из этих значений на осях координат номограммы восстанавливают перпендикуляры, в точке их пересечения методом линейной интерполяции находят наклонную прямую из семейства данных наклонных прямых, относящуюся к определенному ИВ.

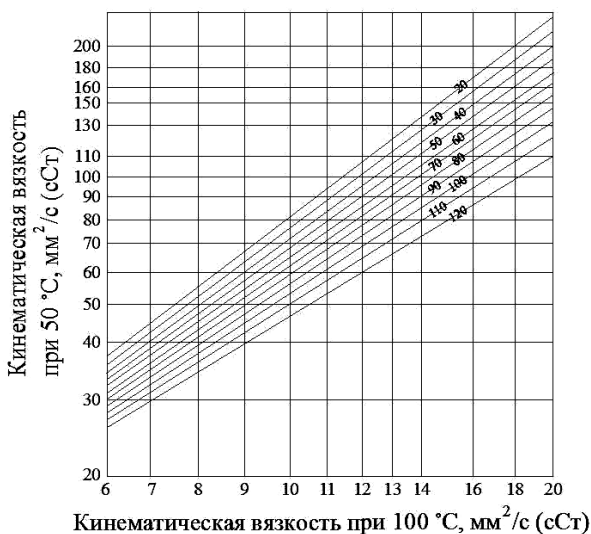


Рис. 4.2. Номограмма для определения индекса вязкости моторного масла



Результаты испытаний по определению кинематической вязкости моторного масла представить в виде табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты испытаний по определению кинематической вязкости для расчета индекса вязкости моторного масла

Температура испытания, °С	Тип вискозиметра	Постоянная вискозиметра, мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	Время истечения, с	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с
40				
50				
100				

По полученным при температурах 50 °С и 100 °С значениям кинематической вязкости построить график (вязкостно-температурную характеристику), откладывая по оси абсцисс температуру, а по оси ординат – вязкость.

Значение кинематической вязкости при 100 °С сравнить с ГОСТ 17479.1–2015 (табл. 4.3) и сделать вывод о принадлежности масла к тому или иному классу.

Таблица 4.3

Классы вязкости моторных масел (ГОСТ 17479.1–2015)

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с
3з	Не менее 3,8	20	Свыше 16,3 до 21,9 включ.
4з	Не менее 4,1	24	Свыше 21,9 до 26,1 включ.
5з	Не менее 5,6	3з/8	Свыше 7,0 до 9,3 включ.
6з	Не менее 5,6	4з/6	Свыше 5,6 до 7,0 включ.
6	Свыше 5,6 до 7,0 включ.	5з/10	Свыше 9,3 до 11,5 включ.
8	Свыше 7,0 до 9,3 включ.	5з/12	Свыше 11,5 до 12,5 включ.

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с
10	Свыше 9,3 до 11,5 включ.	5з/14	Свыше 12,5 до 14,5 включ.
12	Свыше 11,5 до 12,5 включ.	6з/10	Свыше 9,3 до 11,5 включ.
14	Свыше 12,5 до 14,5 включ.	6з/14	Свыше 12,5 до 14,5 включ.
16	Свыше 14,5 до 16,3 включ.	6з/16	Свыше 14,5 до 16,3 включ.

По полученным значениям индекса вязкости сделать выводы об уровне вязкостно-температурных свойств испытуемого моторного масла.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах определения вязкости моторных масел.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Таблица результатов испытаний (табл. 4.2).
5. График вязкостно-температурной характеристики моторного масла и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Как изменяется вязкость масел при изменении температуры?
2. Как влияют вязкостно-температурные характеристики моторных масел на работу двигателя?
3. Какие свойства моторного масла характеризует индекс вязкости?
4. Какие методы определения индекса вязкости вы знаете? В чем состоит их сущность?
5. Какие моторные масла являются загущенными и какими эксплуатационными свойствами они обладают?
6. В чем состоит механизм действия вязкостных присадок в загущенных маслах?

## Практическая работа № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ МОТОРНОГО МАСЛА В ОТКРЫТОМ ТИГЛЕ

*Цель работы:* изучить методику определения температуры вспышки моторного масла в открытом тигле.

*Материальное обеспечение:* методические указания, образец моторного масла, мерный стакан, автоматический регистратор температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А» с набором вкладышей.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить устройство и принцип работы автоматического регистратора температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А».
2. Изучить методику определения температуры вспышки масла в открытом тигле с помощью регистратора «Вспышка-А».
3. Провести подготовку моторного масла и оборудования к испытаниям.
4. Определить температуру вспышки моторного масла в открытом тигле.
5. Вычислить значение температуры вспышки с учетом поправки на барометрическое давление.
6. По результатам испытаний произвести сравнение температуры вспышки испытуемого масла с требованиями стандартов или технических условий (ТУ) и дать заключение о пригодности к использованию исследуемых масел.
7. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Температура вспышки масла – это наименьшая температура, при которой пары нагретого масла образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении пламени.

Температурой воспламенения называется температура, при которой нагреваемое в определенных условиях масло загорается при поднесении к нему пламени и горит не менее 5 с.

Температура вспышки моторных масел находится в пределах 160 °С–240 °С. По ней можно судить об огнеопасности масла и наличии в нем легкоиспаряющихся углеводородов, а также разбавлении масла топливом. Чем ниже температура вспышки, тем лучше испаряемость масла и тем большим будет его расход. При снижении температуры вспышки с 200 °С до 140 °С расход масла возрастает почти на 50 %. Лучшие масла одного и того же назначения имеют более высокую температуру вспышки и поэтому меньший угар.

На температуру вспышки некоторое влияние оказывают атмосферное давление и влажность воздуха. Чем выше атмосферное давление, тем выше и температура вспышки. Повышенная влажность воздуха увеличивает температуру вспышки, так как при этом парциальное давление воздуха в паровоздушной смеси будет уменьшаться за счет присутствия водяных паров.

Вышенаписанное о температуре вспышки полностью распространяется и на температуру воспламенения, которая также зависит от фракционного состава масла.

Температура вспышки зависит от методики ее определения и конструкции прибора. Применяют приборы открытого и закрытого типов, которые различаются между собой условиями испарения в них испытуемого масла. Естественно, температура вспышки в открытом приборе будет всегда выше.

При нагревании в открытом тигле пары масла легко диффундируют в окружающую атмосферу и рассеиваются в ней. Наоборот, в закрытом тигле созданы условия для накопления паров над испаряющейся жидкостью, взрывная концентрация достигается при температуре более низкой, чем в открытом приборе.

Автоматический регистратор температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А» (рис. 5.1) определяет температуру вспышки как в закрытом, так и в открытом тигле в лабораторных условиях.

Принцип действия регистратора основан на методе, заключающемся в нагреве пробы нефтепродукта в открытом тигле с установленной скоростью до вспышки паров нефтепродукта над его поверхностью и фиксацией температуры вспышки в соответствии с ГОСТ 4333–2021 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле» и ГОСТ 6356–75 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле».

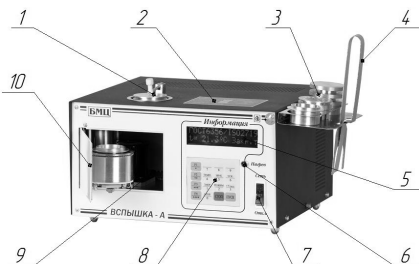


Рис. 5.1. Автоматический регистратор температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А»:

- 1 – гнездо для вкладышей; 2 – краткая инструкция;
- 3 – набор из двух тиглей и двух вкладышей для организации режимов «ОТКРЫТЫЙ» и «ЗАКРЫТЫЙ» тигель; 4 – держатели для вкладышей и тиглей;
- 5 – экран; 6 – индикатор нагрева; 7 – кнопка включения;
- 8 – клавиатура управления; 9 – блок нагрева и поджига (БНП);
- 10 – выдвижная платформа с нагревателем (каретка)

Регистратор состоит из металлического корпуса, внутри которого находится блок нагрева и поджига (БНП), выпрямительный блок, понижающий трансформатор и блок электроники и термостатирования.

Блок нагрева и поджига состоит из разрядника высоковольтной искры, измерительной термопары, термопары фиксации момента вспышки, нагревателя, двигателя, вкладышей для организации режима «ОТКРЫТЫЙ» и «ЗАКРЫТЫЙ» тигель.

Объем пробы и конструкция нагревателя обеспечивают равномерный нагрев нефтепродукта до вспышки паров над его поверхностью без перемешивания. На передней панели корпуса находится клавиатура управления (рис. 5.2) и жидкокристаллический экран для отображения температуры нагрева.



Рис. 5.2. Клавиатура управления регистратором «Вспышка-А»

### ***Назначение клавиш регистратора***

- 1) «ТЕМП.» – устанавливает режим измерения текущей температуры;
- 2) «ЗВУК» – включает и выключает звуковую сигнализацию;
- 3) «ЗАКР.» и «ОТКР.» – задвигают и выдвигают платформу с нагревателем;
- 4) «РЕЖИМ» – устанавливает необходимый режим работы регистратора:
  - режим «ОТКРЫТЫЙ» тигель, метод А по ГОСТ 4333–2021;
  - 5) « $t$  °C<sub>всп</sub>» – осуществляет набор предполагаемой температуры вспышки;
  - 6) «СТОП» – прерывает работу процессора для исправления ранее набранной команды или прекращения опыта;
  - 7) «ПУСК» – осуществляет запуск набранной команды;
  - 8) «УСК.» – устанавливает режим ускоренного определения предполагаемой температуры вспышки;
  - 9) «F1, F2, F3, F4» – используются при пуско-наладочных работах и в процессе метрологической поверки.

### **Методика испытаний**

#### ***Порядок подготовки регистратора к работе***

1. Регистратор установить на рабочее место (вытяжной шкаф) вдали от источников вибрации, нагревательных приборов и сильных потоков воздуха. Регулируя ножки, добиться устойчивого и строго горизонтального положения регистратора.
2. Горизонтальность установки проверять по зеркалу воды, залитой в тигель до риски внутри тигля, установленного в нагреватель.
3. Установить в гнездо в верхней крышке регистратора обезжиренный и просушенный вкладыш – «ОТКРЫТЫЙ» (с прорезями) или «ЗАКРЫТЫЙ» (с глухой верхней крышкой), совместив прорези на вкладыше с выступающими керамическими трубками реактивной камеры.
4. Подключить регистратор шнуром питания в сеть и включить выключатель «СЕТЬ». На табло жидкокристаллического экрана буквенно-цифрового индикатора «Информация» (БЦИ) появляется сообщение:
  - «Вспышка А»;
  - «ЗДРАВСТВУЙТЕ!».

При этом каретка прибора (платформа с нагревателем) начинает движение в сторону открытия. Как только каретка остановится в открытом положении, на БЦИ высветится информация:

- «\*Главное меню\*»;
- «Выберите функцию».

Это исходное положение (ИП) регистратора. В этом положении нажатием кнопки регистратора выбирают функцию главного меню (ГМ). Чтобы войти в программу нужной функции, необходимо нажать кнопку «ПУСК». При нажатии кнопки «СТОП» происходит возврат в ИП.

5. Дать регистратору возможность прогреться в течение 10 мин.

6. После этого регистратор готов к работе.

### ***Порядок работы с регистратором:***

1. Обезжирить и высушить тигель.

2. Исследуемое вещество перед испытанием перемешать в течение 5 мин встряхиванием в склянке, заполненной не более чем на 2/3 объема.

Исследуемые вещества, имеющие температуру вспышки ниже 37 °С, охладить до температуры, которая не менее чем на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки.

3. Заполнить тигель исследуемым веществом до верхней риски так, чтобы верхний мениск точно совпадал с риской. При наполнении тигля выше риски избыток нефтепродукта удалить пипеткой или другим соответствующим приспособлением. Не допускается смачивание стенок тигля выше уровня жидкости.

4. Вставить тигель в нагреватель регистратора.

5. Ознакомиться с инструкцией по порядку работы с клавиатурой.

6. Произвести набор команды работы регистратора в следующей последовательности:

– нажать клавишу «РЕЖИМ» и установить необходимый режим работы;

– нажать последовательно клавиши «t °С» и «ПУСК»;

– набрать клавишами цифрового поля предполагаемую температуру вспышки;

– нажать клавишу «ПУСК», при этом платформа нагревателя двигается в рабочее пространство БНП, а светодиод «НАГРЕВ» начинает мигать с некоторой скважностью.

Скважность мигания зависит от подаваемой на нагреватель мощности и может меняться в процессе опыта.

Срабатывание звукового сигнала после начала движения каретки в сторону закрытия свидетельствует о плохой фиксации вкладыша на верхней крышке регистратора. Для устранения этого необходимо:

- 1) нажать два раза клавишу «СТОП»;
- 2) легким нажатием зафиксировать вкладыш на верхней крышке до упора;
- 3) нажать клавишу «ПУСК».

Отсутствие звукового сигнала будет свидетельствовать об устранении недостатка.

Дальнейшая работа регистратора происходит автоматически вплоть до завершения опыта.

Если предполагаемая температура вспышки неизвестна, необходимо провести ее определение, воспользовавшись режимом ускоренного определения температуры вспышки. Для этого необходимо:

- 1) провести операции, описанные ранее в начале порядка работы регистратора (п. 1–4);
- 2) нажать клавиши «УСК.» и «ПУСК», при этом регистратор начнет производить поджиг смеси и определение температуры вспышки через 5 °С от начала нагрева до завершения опыта;
- 3) после завершения опыта остудить нагреватель и тигель, заполнить тигель новой порцией того же вещества и нажать последовательно клавиши «t °С» и «ПУСК».

### ***Возможные ошибки при измерениях***

Если во время набора команды «t °С» предполагаемая температура вспышки была выбрана неправильно, то в процессе нагрева после превышения на 15 °С (в режиме «ЗАКРЫТЫЙ») или на 20 °С (в режиме «ОТКРЫТЫЙ») предполагаемой температуры вспышки, работа регистратора прекращается и на БЦИ появится сообщение «Ошибка № 03-».

Если во время набора команды «t °С» в режиме «ЗАКРЫТЫЙ» предполагаемая температура вспышки набрана выше 255 °С, на БЦИ появится сообщение «Ошибка № 04-».



Если во время набора команды «t °С» в режиме «ОТКРЫТЫЙ» предполагаемая температура вспышки набрана выше 341 °С, на БЦИ появится сообщение «Ошибка № 05-».

Кроме этого, два сообщения указывают на неисправности узла подачи пробы в БНП: «Ошибка № 01-» – платформа с нагревателем не выдвинулась из БНП в нужное положение; «Ошибка № 02-» – платформа с нагревателем не вдвинулась в БНП в нужное положение.

### ***Поправка на барометрическое давление***

При барометрическом давлении, отличающемся от 760 мм рт. ст. на 15 мм и более, вводится поправка на показанную регистратором температуру вспышки, которая вычисляется по формуле

$$\Delta t = 0,0345 \cdot (760 - P),$$

где  $P$  – фактическое барометрическое давление, мм рт. ст. Вычисления проводят с точностью до 1 °С.

Поправку прибавляют в случае барометрического давления ниже 745 мм рт. ст. и вычитают в случае барометрического давления выше 775 мм рт. ст.

Результаты испытаний по определению температуры вспышки в открытом тигле по ГОСТ 4333–2021 сравнить с данными табл. 5.1 и сделать выводы о соответствии моторных масел требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

*Таблица 5.1*

Температура вспышки моторных масел

Марка моторного масла	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже		
	по ГОСТ 12337–2020	по ГОСТ 10541–2020	по ТУ предприятия- изготовителя
М-10Г <sub>2</sub>	210	–	–
М-14Г <sub>2</sub>	220	–	–
М-14В <sub>2</sub>	210	–	–
М-6з/12Г <sub>1</sub>	–	210	–
М-6з/10Г <sub>1</sub>	–	200	–
М-8В	–	207	–

Марка моторного масла	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже		
	по ГОСТ 12337–2020	по ГОСТ 10541–2020	по ТУ предприятия- изготовителя
Нафтан Премьер SAE 15W-40	–	–	205
Лукойл СУПЕР SAE 10W-40	–	–	224
Роснефть Maximum SAE 10W-40 API SL/CF	–	–	234
MANNOL Molibden Diesel SAE 10W-40 API CG-4/CF-4/SJ	–	–	226

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах определения температуры вспышки моторных масел.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Результаты испытаний и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что называется температурой вспышки и воспламенения?
2. Какие свойства моторного масла характеризует температура вспышки?
3. Какие приборы используют для определения температуры вспышки?
4. Почему температура вспышки в открытом тигле всегда выше, чем в закрытом?
5. Как температура вспышки моторного масла зависит от его качества?
6. Как отражается на работе двигателя уменьшение или увеличение температуры вспышки применяемого моторного масла?

## Практическая работа № 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

*Цель работы:* изучить методы оценки основных показателей качества пластичных смазок.

*Материальное обеспечение:* методические указания, набор пластичных смазок, пенетрометр ЛП, прибор для определения температуры каплепадения смазок, стеклянный стакан емкостью 1–1,5 л, штатив, секундомер, глицерин.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить предъявляемые к пластичным смазкам эксплуатационно-технические требования.
2. Изучить методику определения пенетрации, температуры каплепадения и коллоидной стабильности пластичной смазки, измерительное оборудование и приборы.
3. Провести подготовку пластичной смазки и оборудования к испытаниям.
4. Определить однородность и коллоидную стабильность смазки.
5. Провести измерение пенетрации пластичной смазки.
6. Определить температуру каплепадения пластичной смазки.
7. Дать заключение о пригодности к использованию исследуемой пластичной смазки.
8. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Пластичные смазки используются для снижения сил трения и интенсивности изнашивания трущихся деталей, работающих в местах, откуда жидкие масла вытекают, или в узлах, доступ к которым затруднен. Они могут использоваться в качестве защитных и уплотнительных материалов.

Пластичные смазки представляют собой коллоидные системы, состоящие из дисперсной среды и дисперсной фазы. Дисперсной средой служит жидкое минеральное масло, а дисперсной фазой – загуститель. В состав пластичных смазок входит 80 %–90 % минерального масла и 10 %–20 % загустителя (различные мыла или твердые углеводороды),

а также вода для повышения их коллоидной стабильности. Иногда для улучшения качества и придания специфических свойств к смазкам добавляют различные стабилизаторы и наполнители.

К основным показателям качества пластичных смазок относятся пенетрация, температура каплепадения и коллоидная стабильность.

Контроль густоты пластичных смазок, в какой-то степени отражающей их структурно-механические свойства, производится определением пенетрации. Пенетрацию (число проницаемости) определяют на лабораторном пенетрометре ЛП глубиной погружения в испытуемую смазку стандартного по форме и массе тела (конуса или иглы) за 5 с при заданной нагрузке и температуре. Число проницаемости (пенетрации) выражается целым числом десятых долей миллиметра глубины погружения конуса или иглы в смазку.

Пенетрация характеризует консистенцию или степень мягкости пластичных смазок. Число пенетрации – условный показатель. Оно не имеет физического смысла и не определяет эксплуатационные свойства смазок. По числу пенетрации нельзя судить ни о прочности, ни о вязкостных свойствах смазки.

По пенетрации судят о рабочих свойствах смазки, возможности ее применения в различных механизмах, а также о способности удерживаться в узлах трения. Показатель применяется для контроля над производством уже испытанных пластичных смазок.

Пластичные смазки имеют при 25 °С число пенетрации от 170 до 360. Чем мягче смазка, тем больше число пенетрации.

Изменение числа пенетрации пластичных смазок при хранении указывает на изменение ее структуры. Такую смазку необходимо быстрее использовать.

В табл. 6.1 приведены значения чисел пенетрации при 25 °С, температуры каплепадения (°С) и коллоидной стабильности (%) для пластичных смазок, применяемых в сельском хозяйстве.

*Таблица 6.1*

Характеристики пластичных смазок

Смазка	Пенетрация при 25 °С	Температура каплепадения, °С, не ниже	Коллоидная стабильность, %, не более
<b>Антифрикционные смазки общего назначения</b>			
Солидол С	260–310	85	1–5

Смазка	Пенетрация при 25 °С	Температура каплепадения, °С, не ниже	Коллоидная стабильность, %, не более
Пресс-солидол С	310–350	85	2–10
Графитная УСсА	250–270	77	0,4–5
<b>Смазки многоцелевые</b>			
Литол-24	220–250	185	8–12
Фиол-1	310–340	185	15–25
Алюмол	220–250	230	10–12
<b>Смазки термостойкие</b>			
ЦИАТИМ-221	280–320	200	4–7
Униол-1	280–320	200	2–7
МС-1600	280–340	250	8–10
<b>Смазки низкотемпературные</b>			
ЦИАТИМ-201	290–320	175	16–30
Лита	240–265	170	15–20
<b>Смазки узкоспециализированные</b>			
Смазка №158	265–320	150	8–15
ШРУС-4	250–280	190	12–16

При повышении температуры происходит изменение показателей ряда свойств пластичных смазок, а при достижении определенной для каждой смазки температуры она начинает плавиться.

Плавление пластичной смазки является следствием разрушения ее структуры и перехода из мазеобразного состояния в жидкое в довольно широком интервале температур. Поэтому для оценки температурной стойкости пластичной смазки конкретным числовым показателем введено определение «температура каплепадения».

Температурой каплепадения пластичной смазки называется такая температура, при которой происходит падение первой капли расплавленной смазки из калиброванного отверстия прибора, нагреваемого в определенных условиях.

Пластичные смазки во избежание их плавления и вытекания из узлов трения можно применять в механизмах, рабочая температура которых на 15 °С–20 °С ниже, чем температура каплепадения смазки, выбранной для данного механизма.

При хранении или эксплуатации из пластичной смазки не должно выделяться масло, то есть смазка должна обладать коллоидной стабильностью. Коллоидная стабильность – это способность смазки сопротивляться отделению дисперсионной среды (масла) при хранении и в процессе применения. У большинства пластичных смазок с течением времени выделяется жидкое масло. Это явление усиливается под действием высокой температуры, давления и перемешивания. Коллоидная стабильность возрастает с увеличением количества загустителя в смазке и падает с понижением вязкости минерального масла.

### **Методика испытаний**

#### ***Оценка пластичной смазки по внешним признакам***

При оценке смазки по внешним признакам необходимо обратить внимание на ее цвет, запах и структуру (однородность).

Цвет для большинства смазок не является характерным внешним признаком. Многие смазки, в которых не содержатся специальные добавки, обладают одинаковым цветом (от светло-желтого до темно-коричневого). Отдельные марки смазок могут иметь ярко выраженный характерный цвет. Цвет смазки зависит от окраски входящих в нее компонентов и в некоторой степени от технологии их изготовления. Чем светлее смазка, тем более глубокой очистки масло использовано для ее приготовления.

Запах смазки не зависит от используемого загустителя. Смазки с углеводородными загустителями (технический вазелин и др.) имеют слабый запах нефтепродуктов. Жировые смазки универсального назначения (например, солидолы серии УС) могут пахнуть хозяйственным мылом. Все синтетические смазки (солидол С и др.) обладают своеобразным запахом.

Дисперсионная фаза (загуститель) образует структурный каркас, который удерживает в своих ячейках жидкую дисперсионную среду. Загуститель обуславливает не только механические свойства смазок, но и их внешний вид: смазка может иметь гладкую структуру, что типично, например, для солидолов и литиевых смазок, или зернистую и даже волокнистую структуру.

#### ***Оценка коллоидной стабильности смазки***

При внешнем осмотре в первую очередь определяют отсутствие выделения из смазки жидкой фазы (масла). Далее однородность

определяют с помощью стеклянной пластины, на которую наносят слой испытуемой смазки толщиной 1–2 мм. При рассматривании этого слоя невооруженным глазом в проходящем свете не должны обнаруживаться капли масла, комки загустителя, посторонние твердые включения (их не следует путать с образующимися при нанесении смазки на стекло пузырьками воздуха). При наличии грубых механических примесей, обнаруженных в процессе растирания смазки между пальцами, применение смазки недопустимо.

### ***Определение пенетрации пластичных смазок***

Определение пенетрации следует проводить в соответствии с ГОСТ 32331–2013 «Смазки пластичные. Определение пенетрации с использованием пенетromетра с конусом на одну четверть и половину шкалы» на лабораторном пенетromетре типа ЛП марки ПН-1ЖВ (ГОСТ 1440–78).

#### ***Порядок выполнения работы***

В стакан смесителя вмазыванием загрузить испытуемую смазку в таком количестве, чтобы она заполнила весь объем стакана и выступала в виде шарового сектора с высотой 15 мм. При вмазывании смазки необходимо следить, чтобы в ней не оставалось карманов воздуха.

После заполнения стакана смесителя испытуемой смазкой, следует плотно завинтить крышку, погрузить его в ванну и выдержать в течение 1 ч при температуре испытания, установленной стандартом или техническими условиями на испытуемую смазку. Стакан погрузить так, чтобы жидкость в ванне покрывала его полностью, включая и крышку, но не более чем на 10 мм выше отверстия в крышке, через которое проходит шток диска.

По истечении срока выдерживания вынуть стакан из ванны, прикрепить его к подставке, а рукоятку смесителя – к рычагу и перемешать смазку попеременным поднятием и опусканием рукоятки 60 раз в течение 1 мин.

После перемешивания смазки отвинтить крышку и снова погрузить открытый стакан смесителя в ванну на 15 мин при температуре испытания 25 °С и на 30 мин – при более высокой температуре. Стакан погрузить так, чтобы жидкость в ванне достигла резьбы стакана, но не была выше его края.

Ванну с находящимся в ней открытым стаканом (или коробкой) поместить на столик пенетromетра (рис. 6.1, а) и тщательно выровнять ножом поверхность смазки (избыток смазки снять).

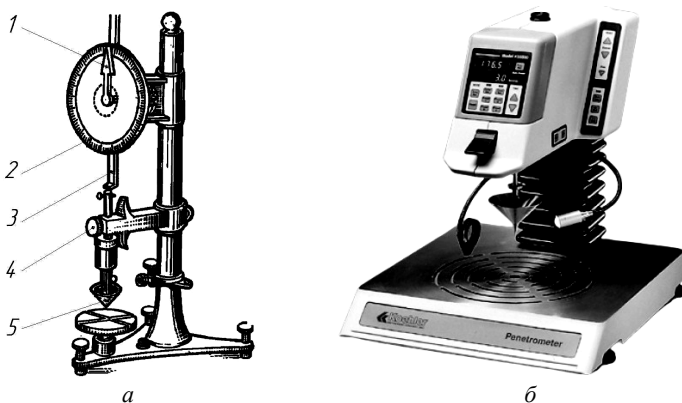


Рис. 6.1. Приборы для определения пенетрации:  
*a* – пенетромтр ПН-1ЖВ; *б* – пенетромтр K95590 (Koechler Instrument);  
 1 – стрелка циферблата; 2 – циферблат; 3 – кремальера;  
 4 – пусковая кнопка; 5 – конус

Температуру жидкости в ванне нужно поддерживать с точностью  $\pm 0,5$  °С.

Конус 5 установить так, чтобы его наконечник касался поверхности смазки в центре стакана. При этом необходимо предотвратить возможность соприкосновения конуса со стенкой стакана.

После установки конуса кремальеру 3 опустить до соприкосновения с плунжером, в котором закреплен хвостовик конуса, и поставить стрелку 1 циферблата 2 на нуль.

Одновременно пустить в ход секундомер и нажать пусковую кнопку 4 пенетромтра, давая конусу 5 свободно погружаться в смазку в течение 5 с, после чего отпустить кнопку, прекращая этим погружение конуса. При погружении в смазку конус не должен касаться стенок стакана смесителя или коробки.

Затем снова опустить кремальеру 3 до соприкосновения с плунжером. При этом вместе с кремальерой будет передвигаться и стрелка 1 на циферблате 2.

После отсчета показаний стрелки на шкале циферблата приподнять кремальеру и плунжер с конусом, тщательно очистить конус от смазки ватой, смоченной бензином, и насухо вытереть, подготовив таким образом пенетромтр к повторному испытанию.

Перед повторным испытанием перемешанного образца поверхность смазки в стакане смесителя выровнять, следя за тем, чтобы



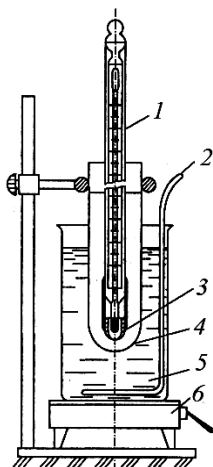
не образовалось воздушных карманов, и изменить место соприкосновения наконечника со смазкой. Если образец смазки не перемешивался, следует немного передвинуть коробку.

За результат испытания принять среднее арифметическое результатов трех определений для смазок с пенетрацией до 200 и пяти для смазок с пенетрацией 200 или выше, округленное до значений, кратных пяти.

Для определения пенетрации пластичных смазок, нефтяных парафинов, битумов, паст и других продуктов от твердой до полужидкой консистенции также можно использовать электронные пенетromетры (рис. 6.1, б). Прибор обеспечивает высокую точность измерений, микропроцессорное управление позволяет составлять отчеты, облегчает работу оператора.

### ***Определение температуры каплепадения***

Испытуемая смазка, нагретая в определенных условиях, размягчается до такого состояния, при котором происходит образование капли и ее падение. Определение температуры каплепадения проводится на специальном приборе (ГОСТ 6793–74 «Метод определения температуры каплепадения»), изображенном на рис. 6.2.



*Рис. 6.2.* Прибор для определения температуры каплепадения смазок:  
1 – термометр с гильзой; 2 – мешалка; 3 – чашечка для испытуемой смазки;  
4 – пробирка-муфта; 5 – сосуд с водой или глицерином; 6 – электроплитка

Основной деталью прибора является термометр 1, к нижней части которого прикреплена металлическая гильза. В гильзе силами трения удерживается стеклянная чашечка (капсюль) 3, в донной части которой имеется калиброванное отверстие, через которое может вытекать расплавленная смазка. Термометр 1 при помощи пробки закрепляется внутри пробирки-муфты 4 и помещается в сосуд 5 с водой или глицерином, установленный на электроплитке 6. Воду в сосуде помешивают с помощью специальной мешалки (турбулизатора) 2.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Вынуть чашечку 3 из прибора и при помощи шпателя плотно заполнить ее исследуемой смазкой. При этом необходимо следить за тем, чтобы в смазку, находящуюся в чашечке 3, не попали пузырьки воздуха. Излишек смазки необходимо удалить шпателем или ножом.

2. Вставить чашечку 3 в гильзу до упора и снять выдавленную ртутным шариком смазку заподлицо с нижним обрезом чашечки.

3. Вставить термометр 1 с чашечкой в пробирку-муфту 4 так, чтобы расстояние от низа чашечки до дна пробирки составляло 25 мм.

4. Погрузить пробирку-муфту 4 с прибором вертикально в сосуд 5 с водой и закрепить так, чтобы глубина погружения была равна 150 мм.

5. Нагреть воду в сосуде 5 так, чтобы ее температура повышалась со скоростью 1 °С в минуту. Воду в сосуде периодически помешивать специальной мешалкой 2.

6. Отметить температуру, при которой размягченная смазка начинает выступать из чашечки 3 – температуру каплеобразования или размягчения.

7. Отметить температуру, при которой падает первая капля испытуемой смазки – температуру каплепадения. Если смазка не образует капли, а выступает из чашечки 3 в виде цилиндрического столбика, за температуру каплепадения принимают температуру, при которой выходящий столбик смазки коснется дна пробирки-муфты 4. Полученный результат округляют до целых единиц. Допускаемое расхождение между двумя опытами не более 1 °С.

8. Отключить электроплитку 6, разобрать и вычистить прибор, убрать рабочее место.

Результаты испытаний по оценке качества пробы пластичной смазки представить в виде табл. 6.2. Сделать выводы о соответствии

пластичной смазки требованиям, установленным нормативно-технической документацией (табл. 6.1).

Таблица 6.2

Результаты испытаний по определению качества пластичных смазок

Показатель	Значение показателей		Отклонение показателей от ГОСТа или ТУ
	для испытуемого образца	по ГОСТу или ТУ	
1. Внешний вид			
2. Однородность			
3. Механические примеси			
4. Пенетрация при 25 °С			
5. Температура размягчения, °С			
6. Температура каплепадения, °С			
7. Максимальная температура использования, °С			

Дать рекомендации по использованию испытанных смазок в узлах тракторов и автомобилей.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах определения пенетрации и температуры каплепадения пластичных смазок.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Таблица результатов испытаний (табл. 6.2) и выводы.

### Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные области применения пластичных смазок.
2. Назовите основные компоненты пластичных смазок.
3. Что характеризует число пенетрации пластичных смазок?
4. Какой прибор используют для определения пенетрации?
5. Дайте определение температуре каплепадения пластичных смазок.
6. Каково практическое использование знания температуры каплепадения смазки?

## Практическая работа № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТОРМОЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

*Цель работы:* изучить методы оценки основных показателей качества тормозных жидкостей.

*Материальное обеспечение:* методические указания, образец тормозной жидкости, дистиллированная вода, бензин, термометр, электроплитка, мерный цилиндр, пробирки, колба.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить предъявляемые к тормозным жидкостям эксплуатационно-технические требования.
2. Изучить методику исследования качественных параметров тормозных жидкостей, измерительное оборудование и приборы.
3. Провести подготовку тормозных жидкостей и оборудования к испытаниям.
4. На рабочих местах провести определение марки жидкости по цвету; определить основу тормозной жидкости; проверить тормозные жидкости на смешивание и растворимость в воде и бензине.
5. Определить содержание воды в образце пробы тормозной жидкости и ее температуру кипения.
6. Оформить отчет.

#### Общие сведения

В тормозных системах большинства грузовых и легковых автомобилей, сельскохозяйственных тракторов используют гидравлические приводы. Рабочим телом в этих приводах являются специальные жидкости, которые называются тормозными. Тормозные жидкости также используются в гидравлических приводах сцеплений. Тормозные жидкости в любых условиях должны обеспечивать надежную и долговечную работу тормозной системы, привода и муфты сцепления. Поэтому тормозные жидкости должны удовлетворять следующим эксплуатационно-техническим требованиям:

– не вызывать коррозии металлических деталей, а также набухания, разьедания, высыхания резиновых манжет, клапанов и шлангов гидравлического привода;

– обладать хорошими вязкостно-температурными свойствами (небольшой вязкостью и низкой температурой застывания), обеспечивая высокую подвижность (прокачиваемость) в зимнее время и отсутствие подтеканий в летнее;

– иметь температуру кипения выше максимальной температуры нагрева жидкости в тормозном приводе, чтобы не допускать образования паровых пробок в гидравлической системе и потерь жидкости от испарения;

– обладать хорошими смазывающими свойствами для обеспечения минимальных износостойкости трущихся деталей привода и минимальных потерь энергии на преодоление трения;

– быть стабильной, то есть не расслаиваться, не выделять осадка, не вспениваться и длительно при работе и хранении сохранять неизменными свои физико-химические свойства;

– тормозные жидкости не должны содержать механические примеси и воду.

Эксплуатационные свойства тормозных жидкостей определяются составом основных компонентов, входящих в них. В зависимости от основы тормозные жидкости делятся на минеральные, гликолевые и силиконовые.

Минеральные тормозные жидкости представляют собой смеси касторового масла, получаемого из масличной культуры клещевины, и спирта. Смесь на основе бутилового спирта образует тормозную жидкость БСК. Тормозная жидкость БСК состоит из 50 % касторового масла и 50 % бутилового спирта. В данную жидкость добавляют красный краситель.

Жидкость на основе касторового масла обладает хорошими смазывающими и защитными свойствами, она негигроскопична, но имеет низкую температуру кипения (115 °С). Поэтому ее нельзя использовать в приводах с дисковыми тормозами, так как жидкость в их рабочих цилиндрах может достигать температуры 150 °С, а иногда и более высокой. При отрицательных температурах вязкость БСК сильно возрастает, а при –20 °С она застывает. Это является большим недостатком данной жидкости. Жидкость БСК используют в гидроприводах тормозов и сцеплений старых моделей автомобилей.

Жидкости на основе минеральных масел практически не обладают гигроскопичностью, поэтому температура их кипения (при

отсутствии абсорбции влаги) не снижается. Для обеспечения меньшей зависимости вязкости от температуры в тормозную жидкость добавляют специальные присадки.

Наибольшее применение при эксплуатации автомобилей и других транспортных средств получили высокотемпературные гликолевые тормозные жидкости, изготовленные на основе различных соединений гликолей (полигликолей). При удовлетворительных смазывающих свойствах эти жидкости имеют высокую начальную температуру кипения и низкую температуру застывания ( $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), однако, будучи гигроскопичными, при насыщении влагой снижают температуру кипения. В последнее время широко применяются гликолевые тормозные жидкости DOT-3, DOT-4 и их аналоги («РОСДОТ», DOT-4). Все жидкости на гликолевой основе ядовиты. Поэтому при обращении с ними следует соблюдать особую осторожность.

Жидкости DOT-3, DOT-4 производятся на основе борсодержащего полиэфира, в который вводят антиокислительные и антикоррозионные присадки. Тормозная жидкость DOT-3 отличается от жидкости DOT-4 только наличием в своем составе различных пластификаторов. Срок службы жидкостей DOT-3, DOT-4 составляет 2 года. Срок службы тормозных жидкостей может быть снижен при эксплуатации автомобиля или трактора в тяжелых условиях, нарушении герметичности гидропривода тормозных механизмов или сцепления.

Широкое распространение находят тормозные жидкости на синтетической основе: Mannol DOT-4, Mannol SUPER DOT-4, DOT-5.1 и др. Тормозная жидкость DOT-5.1 предназначена для использования во всех автомобилях, оснащенных антиблокировочной тормозной системой (АБС). Срок службы данных жидкостей доходит до 4–5 лет.

Характеристики тормозных жидкостей приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Основные физико-химические показатели тормозных жидкостей

Показатель	Марка тормозной жидкости			
	БСК	«Нева-М»	«Томь»	DOT-4
Внешний вид при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Прозрачная однородная жидкость ярко-красного цвета без осадка	Прозрачная однородная жидкость желтого цвета без осадка		

Показатель	Марка тормозной жидкости			
	БСК	«Нева-М»	«Томь»	DOT-4
Механические примеси	Отсутствуют			
Кинематическая вязкость при 50 °С, мм <sup>2</sup> /с, не менее	9,0	5,0	5,0	5,0
Температура кипения, °С, не ниже	115	190	205	260
Температура кипения увлажненной жидкости, °С, не ниже	Не нормируется	140	160	165
Температура застывания (потеря подвижности), °С	-20	-60	-60	-60
Увеличение объема резины марки 51–1524 при взаимодействии с жидкостью, %	5–10	2–10	2–8	2–10
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	850–900	1010–1015	1005–1015	1005–1010

Силиконовые тормозные жидкости (DOT-5), как и минеральные масла, не абсорбируют влагу. Накопленная в тормозной жидкости вода в свободном состоянии при нагревании более 100 °С выпаривается, а при охлаждении ниже 0 °С замерзает, что препятствует нормальной работе тормозной системы. Кроме того, тормозные жидкости на основе силиконов имеют худшие смазывающие свойства. Данный класс жидкостей отличается высокой степенью насыщения воздухом (аэрация). Из-за этого их свойства DOT-5 запрещено использовать в машинах с АБС. Эти жидкости имеют ограниченное применение, в основном их применяют в автомобилях, развивающих высокие скорости (спортивных и гоночных автомобилях).

Следует помнить, что смешивание любой тормозной жидкости с топливом и маслами недопустимо, так как нефтепродукты разрушают резиновые детали, что приводит к отказам тормозной системы. Для промывки тормозных систем с гидравлическим приводом используют технический этиловый спирт.

Тормозные жидкости на основе минеральных масел нельзя смешивать с другими жидкостями, в которых в качестве основы применяются гликоли, чтобы не допустить набухания резиновых уплотнительных элементов гидропривода тормозов. Кроме того, при снижении температуры из раствора будут выпадать сгустки касторового масла, которые могут препятствовать прохождению жидкости по тормозной системе.

Жидкости на основе гликолей (DOT-3, DOT-4, DOT-5.1) могут заменять друг друга и смешиваться. Жидкости классом выше допускается добавлять в жидкость классом ниже. Например, если в системе была жидкость DOT-3, то заливка DOT-4 или DOT-5.1 улучшит ее характеристики и, соответственно, работу тормозной системы. Если же в жидкость DOT-5.1 залить жидкость классом или двумя ниже, то свойства жидкости могут ухудшиться.

### **Методика испытаний**

Определение показателей качества тормозных жидкостей следует проводить в соответствии с требованиями, указанными в технических условиях (ТУ), например: тормозная жидкость DOT-4 (ТУ 2451-011-48318378–2004).

#### ***Оценка тормозной жидкости по внешним признакам***

Определить основу тормозной жидкости по цвету. Цвет касторовых и гликолевых тормозных жидкостей указан в табл. 7.1. Визуально оценить однородность, наличие осадка и механических примесей в тормозной жидкости.

#### ***Проверка тормозных жидкостей на смешивание***

Если марка тормозной жидкости, залитой в тормозную систему, неизвестна, то делают пробу на смешивание. В пробирку наливают равное количество жидкости, взятой из тормозной системы, и той, которую предполагается доливать в систему. Затем жидкости взбалтывают. Если произошло расслоение смеси, то жидкости



изготовлены на разных основах и доливать жидкость в тормозную систему нельзя.

### ***Определение основы тормозной жидкости смешиванием в воде и бензине***

Смешивая две неизвестные жидкости, не всегда можно увидеть, что они приготовлены не на одной основе. Поэтому важно знать основу смешиваемых жидкостей. Определить основу тормозных жидкостей можно смешиванием с водой и бензином. Касторовая жидкость растворяется бензином и расслаивается с водой, почти все гликолевые жидкости – наоборот.

Налить в пробирки образцы жидкостей по 5 мл, добавить столько же воды и встряхнуть пробирки. Касторовая жидкость расслоится, гликолевая – перемешается (растворится). По результатам можно определить основу.

Подтвердить выводы смешиванием образцов с бензином. При добавлении бензина к касторовой жидкости они полностью перемешиваются и образуют однородную смесь. Гликолевые жидкости не смешиваются с бензином, получаются два разнородных слоя. Рассмотреть, как ведут себя при смешивании две жидкости на различных основах.

### ***Определение температуры кипения тормозной жидкости***

Температура кипения жидкости говорит о возможности ее использования в современных автомобилях с дисковыми тормозами, также со временем тормозная жидкость впитывает воду, вследствие чего понижается ее температура кипения. В случае значительного снижения этой температуры тормозную жидкость следует заменить на свежую.

Налить образец жидкости в круглодонную колбу, установить термометр так, чтобы ртутный шарик был погружен в жидкость. Произвести нагрев жидкости на электроплитке. При появлении первых признаков кипения зафиксировать показания термометра. Сверить полученный результат с данными табл. 7.1 и сделать вывод о годности тормозной жидкости.

Контроль температуры кипения тормозной жидкости можно периодически проводить в автомастерских, станциях технического обслуживания с помощью экспресс-приборов (рис. 7.1), которые

в течение нескольких минут выдают заключения о возможности дальнейшего использования тормозной жидкости.



Рис. 7.1. Тестеры тормозной жидкости, определяющие температуру кипения: а – тестер тормозной жидкости BFT 320P; б – тестер тормозной жидкости BFCS 300

Тестер тормозной жидкости BFT 320P (рис. 7.1, а) позволяет определить температуру кипения всех видов гликолевых тормозных жидкостей (DOT-3, DOT-4, DOT-5.1) непосредственно в бачке для тормозной жидкости автомобиля. В комплект с тестером также идут мензурка и пипетка, что позволяет производить измерения вне автомобиля. Тестер разогревает тормозную жидкость до температуры кипения. Процесс измерения длится около 30 с. После этого на дисплее отображается результат вместе с рекомендацией по возможной замене тормозной жидкости. Термопринтер позволяет документировать рассчитанный результат измерений. Погрешность измерений, заявленная производителем, не превышает 3 %–5 %.

Принцип работы тестера тормозной жидкости BFCS 300 (рис. 7.1, б) аналогичен тестеру BFT 320P.

Из всех методов измерения температуры кипения тормозной жидкости термический метод закипания является наиболее точным.

### ***Определение содержания воды в тормозной жидкости***

О снижении температуры кипения тормозной жидкости можно косвенно судить по содержанию в ней воды. Помимо снижения температуры кипения тормозной жидкости, повышенное содержание в ней воды снижает эффективность тормозной системы, вызывает коррозию деталей, закисание тормозных цилиндров, ухудшается смазывающая способность тормозной жидкости, при

высоких температурах образуются паровые пробки, при отрицательных температурах жидкость в приводе тормозной системы или сцепления может замерзнуть. Содержание воды в тормозной жидкости не должно превышать 3 %.

Содержание воды в тормозной жидкости можно определить с помощью тестеров (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Тестеры тормозной жидкости, определяющие содержание воды:  
а – электронный тестер тормозной жидкости HOEGERT HT8G433;  
б – рефрактометр VBK2

Принцип работы электронного тестера тормозной жидкости HOEGERT HT8G433 (рис. 7.2, а) заключается в измерении электросопротивления тормозной жидкости. Щуп с двумя электродами погружается в бачок с тормозной жидкостью непосредственно на автомобиле, далее на один из электродов подается электрический ток, тормозная жидкость выступает в качестве проводника, датчик замеряет напряжение на втором электроде.

Проверка занимает несколько секунд. Загорание соответствующего светодиода свидетельствует о процентном содержании воды и необходимости замены тормозной жидкости. График, изображенный на корпусе тестера, позволяет определить температуру кипения.

Принцип работы тестеров-рефрактометров (рис. 7.2, б) основан на разложении света: световой луч преломляется по-разному при переходе из одного вещества в другое (из тормозной жидкости в воду и наоборот). Это высокоточный прибор, для проведения анализа достаточно поместить одну-две капли тормозной жидкости на призму прибора.

Результаты испытаний по оценке качества пробы тормозной жидкости представить в виде табл. 7.2. Сделать выводы о соответствии тормозной жидкости требованиям, установленным техническими условиями (табл. 7.1).

Таблица 7.2

Результаты испытаний по определению качества тормозных жидкостей

Показатель	Значение показателей		Отклонение показателей от ТУ
	для испытываемого образца	по ТУ	
1. Внешний вид при 20 °С			
2. Однородность			
3. Механические примеси			
4. Растворимость в воде			
5. Растворимость в бензине			
6. Температура кипения, °С			
7. Содержание воды, %			

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о методах оценки качества тормозных жидкостей.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Таблица результатов испытаний (табл. 7.2) и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены тормозные жидкости?
2. Какие свойства тормозных жидкостей обеспечивают надежную работу тормозной системы?
3. Каков состав тормозных жидкостей?
4. Как влияет на эффективность работы тормозной системы наличие воды в тормозной жидкости?
5. Допускается ли смешивать касторовые и гликолевые тормозные жидкости?
6. С какой периодичностью следует заменять тормозные жидкости?

## Практическая работа № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НИЗКОЗАМЕРЗАЮЩИХ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

*Цель работы:* закрепить знания по составу и эксплуатационным свойствам низкозамерзающих охлаждающих жидкостей, изучить методику определения состава охлаждающих жидкостей.

*Материальное обеспечение:* методические указания, образец низкозамерзающей охлаждающей жидкости, дистиллированная вода, стеклянный цилиндр, мерный цилиндр, ареометр-гидрометр АС-ЭГ (АЭГ).

#### Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с методикой определения состава низкозамерзающих охлаждающих жидкостей (антифризов), с измерительным оборудованием и приборами.
2. Провести подготовку антифриза и оборудования к лабораторным испытаниям.
3. Провести измерение содержания этиленгликоля в антифризе и температуры его замерзания.
4. Вычислить значение необходимой добавки воды или этиленгликоля при исправлении антифриза.
5. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Большая часть тепла, выделяющегося при сгорании топлива в двигателе, идет на нагрев камер сгорания и цилиндров двигателя. При очень высоких температурах стенок камер сгорания теряется мощность двигателя вследствие ухудшения наполнения цилиндров, ухудшаются условия смазывания, происходят детонация, калильное зажигание и другие нежелательные явления. Чтобы предотвратить перегрев деталей двигателя, их охлаждают. В качестве охлаждающих агентов в двигателях используют воздух или жидкости. Наибольшее распространение получили жидкостные системы охлаждения.

В двигателях с жидкостным охлаждением блок и головка цилиндров выполнена двойной. Между стенками образуется охлаждающая рубашка, которая заполняется жидкостью. Охлаждающая жидкость отводит тепло от стенок и головки цилиндров и передает тепло в окружающую среду через радиатор. Таким образом, охлаждающая жидкость непрерывно циркулирует в замкнутой системе охлаждения, нагреваясь в блоке и головке цилиндров и охлаждаясь в радиаторе.

Для обеспечения нормальной работы всей системы к охлаждающей жидкости предъявляют ряд требований. Жидкость должна иметь высокую теплоемкость и теплопроводность, чтобы эффективно отводить тепло. Она не должна замерзать и кипеть при всех рабочих температурах двигателя, вспениваться, вызывать коррозию металлов и сплавов, разъедать резиновые шланги и соединения системы охлаждения.

Наибольшее распространение в качестве низкозамерзающих охлаждающих жидкостей (антифризов) получили гликолевые низкозамерзающие жидкости – водные растворы этиленгликоля с антикоррозионными, антивспенивающими, стабилизирующими и красящими присадками.

Эксплуатационные свойства охлаждающих жидкостей проявляются в результате особенностей химмотологических процессов, протекающих в системе охлаждения, функционально связанной с цилиндро-поршневой группой и системой смазки двигателя.

В системах охлаждения автотракторных двигателей широко используются этиленгликолевые антифризы. Средний срок службы этиленгликолевых антифризов составляет 2 года.

Этиленгликоль  $C_2H_4(OH)_2$  – двухатомный спирт, представляет собой ядовитую жидкость без цвета и запаха, хорошо смешивается с водой в любых соотношениях, плотность при 20 °С составляет 1113 кг/м<sup>3</sup>, замерзает при –11,5 °С. Однако при смешивании этиленгликоля с водой температура застывания смеси ниже, чем каждого из компонентов.

При смешивании этиленгликоля с водой в различных соотношениях можно получить смеси, замерзающие от 0 до –75 °С.

В связи с тем, что этиленгликоль и вода обладают различной плотностью, при смешивании их в различных соотношениях меняется плотность антифриза. По плотности антифриза можно

судить о его температуре замерзания (температура начала кристаллизации).

Промышленность выпускает охлаждающие жидкости марок ОЖ-40, ОЖ-65, концентрат марки ОЖ-К (табл. 8.1) и др.

Таблица 8.1

Характеристики охлаждающих жидкостей

Показатель	Марка охлаждающей жидкости по ГОСТ 28084–89		
	ОЖ-40	ОЖ-65	ОЖ-К
Внешний вид*	Прозрачная однородная окрашенная жидкость без механических примесей		
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	1065–1085	1085–1100	1100–1150
Состав, % по массе:			
– этиленгликоль, не менее	52	64	94
– вода, не более	47	35	5
Температура замерзания, °С, не выше	–40	–65	–
Температура применения, °С	От –40 до +95	От –60 до +95	–

\* Цвет охлаждающей жидкости устанавливают в нормативно-технической документации на жидкость конкретного вида.

Антифриз марки 40 предназначен для эксплуатации двигателей в зимнее время в условиях умеренного климатического пояса.

Антифриз марки 65 выпускается для эксплуатации двигателей в холодное время года в условиях полярного и субполярного климата.

При смешивании 1 л концентрата ОЖ-К с 0,73 л дистиллированной воды получают охлаждающую жидкость марки 40. При смешивании концентрата ОЖ-К с дистиллированной водой в пропорции 1:1 получают антифриз с температурой начала кристаллизации не выше –35 °С.

Этиленгликоли обладают коррозионными свойствами, поэтому в низкотемпературные охлаждающие жидкости вводят противокоррозионные присадки (декстрин, динатрийфосфат, молибденовокислый

натрий). Декстрин – это углевод типа крахмала, его вводят в антифриз в количестве 1 г/л. Он защищает от коррозии алюминий, медь и свинцово-оловянный припой. Некоторая часть декстрина (5–10 %) не растворяется в антифризе и находится в нем в виде коллоида. Поэтому антифриз становится несколько мутным. Декстрин при хранении может выпасть в осадок, и антифриз приобретает прозрачность. Антифриз мутный или с выпавшим осадком декстрина пригоден к употреблению.

Динатрийфосфат вводят в количестве 2,5–3,5 г/л. Он предотвращает коррозию стальных, чугунных и частично медных деталей.

Молибденовокислый натрий вводят в антифриз в количестве 7–8 г/л для предупреждения коррозии цинковых и хромовых покрытий.

Применяется также низкозамерзающая охлаждающая жидкость «Тосол». Выпускают три марки этой жидкости: «Тосол А-40», «Тосол А-65» и «Тосол А». Все они окрашены в голубой цвет. «Тосол» применяют круглогодично. В него добавляют антикоррозионные и антипенные присадки.

«Тосол А» представляет собой концентрат, при разбавлении которого на 50 % дистиллированной водой получают антифриз с температурой кристаллизации  $-35^{\circ}\text{C}$ . При соответствующем разбавлении концентрата дистиллированной водой получают «Тосол А-40» с температурой замерзания  $-40^{\circ}\text{C}$  и «Тосол А-65» с температурой замерзания  $-65^{\circ}\text{C}$ .

Марку «Тосола» можно определить по его плотности при  $20^{\circ}\text{C}$ , которая для «Тосола А» составляет  $1120\text{--}1140\text{ кг/м}^3$ , для «Тосола А-40» –  $1075\text{--}1085\text{ кг/м}^3$ , для «Тосола А-65» –  $1085\text{--}1095\text{ кг/м}^3$ .

Этиленгликолевые охлаждающие жидкости – сильные яды, поэтому с ними следует работать осторожно.

Широкое распространение находят антифризы на пропиленгликолевой основе. Срок службы таких антифризов может достигать до 5–10 лет. Некоторые производители заявляют, что смена современных пропиленгликолевых антифризов марки G13 в двигателе не требуется в течение всего срока эксплуатации их автомобилей.

## Методика испытаний

### *Определение состава и температуры замерзания антифриза*

Состав антифриза определяют гидрометром. Существуют специальные ареометры-гидрометры, с помощью которых измеряют



содержание этиленгликоля в антифризе и температуру его замерзания. Гидрометр (рис. 8.1) представляет собой ареометр, снабженный вместо шкалы плотности двойной шкалой: содержание этиленгликоля и температура замерзания.

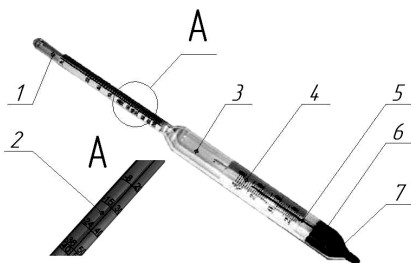


Рис. 8.1. Ареометр-гидрометр с термометром АС-ЭГ (АЭГ) 20 %–100 %:

- 1 – трубчатый стержень;
- 2 – шкала содержания этиленгликоля и температуры замерзания антифриза;
- 3 – полый стеклянный корпус; 4 – шкала температуры; 5 – встроенный термометр;
- 6 – связующее вещество; 7 – балласт (свинцовая дробь)

Определение параметров охлаждающих жидкостей следует проводить в соответствии с ГОСТ 28084–89 «Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия».

При проведении опыта температура антифриза должна быть 20 °С, для чего антифриз, налитый в цилиндр, выдерживают в термостабилизирующем устройстве в течение 15 мин. В этом случае не требуется вводить в полученный результат температурных поправок.

Гидрометр осторожно опускают в цилиндр с антифризом. После того как гидрометр установился, отсчитывают показания. Показания состава антифриза и температуры замерзания с ареометра АС-ЭГ (АЭГ) 20 %–100 % отсчитывают по нижнему краю мениска жидкости. Если определение состава антифриза производится не при 20 °С, то в показания гидрометра вносят поправку (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Поправка к показаниям гидрометра

Температура испытуемого антифриза, °С	Содержание этиленгликоля, % по объему									
30	17	22	27	32	36	41	46	5	55	
20	20	25	30	35	40	45	40	55	60	

Температура испытуемого антифриза, °С	Содержание этиленгликоля, % по объему								
	15	21	26	32	37	42	47	52	57
10	22	27	33	38	44	49	54	59	65
0	24	29	29	35	40	47	52	63	69
-10	26	31	37	43	50	56	62	67	73

В первой колонке табл. 8.2 показана температура, при которой проводился опыт, а по горизонтальной строке – показания гидрометра при температуре опыта. Затем в том же столбце, но в строке, соответствующей 20 °С, находят истинное содержание этиленгликоля в антифризе.

Например, при температуре 10 °С содержание этиленгликоля по гидрометру 38 %. Истинное содержание этиленгликоля (при 20 °С) будет 35 %. Если в табл. 8.2 отсутствуют значения температуры и показания гидрометра, прибегают к интерполяции. После того, как найден истинный состав антифриза, по шкале гидрометра определяют температуру его замерзания.

#### ***Проведение расчета по исправлению качества антифриза***

В том случае, когда состав антифриза не соответствует нормам, готовится смесь требуемого качества. Необходимая добавка этиленгликоля или воды при исправлении антифриза рассчитывается по следующим формулам:

– при добавлении этиленгликоля:

$$M = \frac{(a - b)H}{b}; \quad (8.1)$$

– при добавлении воды:

$$M = \frac{(c - d)H}{d}, \quad (8.2)$$

где  $M$  – количество добавляемого компонента (воды или этиленгликоля), л;

$H$  – объем исходного образца антифриза, л;  
 $a$  и  $b$  – содержание воды в исходном образце и в заданной смеси, % по объему;  
 $c$  и  $d$  – содержание этиленгликоля в исходном образце и в заданной смеси, % об.

Существуют специальные рефрактометры для определения состава антифриза. Рефрактометр для антифриза (рис. 8.2) является прибором для быстрой проверки плотности антифриза и температуры замерзания любых теплоносителей и стеклоомывающих жидкостей, он также позволяет определять плотность электролита в аккумуляторных батареях (АКБ). Для этого достаточно одной капли антифриза или электролита.



Рис. 8.2. Рефрактометр для антифриза, стеклоомывающей жидкости, электролита АКБ и его шкала

В основу процесса тестирования при помощи рефрактометра положен принцип разложения света, что позволяет производить точные измерения.

Считывание показания прибора производится по четкой разделительной линии светлое/темное. Рефрактометр может тестировать как холодный, так и горячий антифриз. Резкость изображения регулируется вращением окуляра. Точность прибора контролируется с помощью дистиллированной воды.

Результаты испытаний по оценке качества пробы антифриза и необходимой добавке этиленгликоля или воды при его исправлении представить в виде табл. 8.3. Сделать выводы о соответствии антифриза требованиям, установленным нормативно-технической документацией (табл. 8.1).

Результаты испытаний по определению качества антифриза

Показатели	Значения показателей		Отклонение показателей от ГОСТа или ТУ
	для испытуемого образца	по ГОСТу или ТУ	
1. Внешний вид			
2. Однородность			
3. Механические примеси			
4. Температура замерзания, °С			
5. Количество добавляемого компонента $M$ , л: – этиленгликоль; – вода		–	–

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о показателях качества охлаждающих жидкостей и методике определения их состава.
3. Основные сведения об используемом оборудовании.
4. Подробные характеристики испытуемых антифризов.
5. Результаты опытов по определению состава антифриза, температуры его замерзания и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какой состав и свойства имеет антифриз, используемый для охлаждения автотракторных двигателей?
2. Какие особенности этиленгликолевых антифризов нужно учитывать при их эксплуатации?
3. Какие есть марки этиленгликолевых антифризов?
4. Как определить добавку воды или этиленгликоля при исправлении антифриза?
5. Для чего вносится поправка к показаниям гидрометра?
6. Какие приборы используют для оценки качества антифризов?

## Практическая работа № 9

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ СКОРОСТНОЙ И РЕГУЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

*Цель работы:* изучить методики измерения основных показателей топливного насоса высокого давления (ТНВД) в соответствии с требованиями технических условий (ТУ), обработки данных, построения графиков характеристик ТНВД. Изучить на практике основы анализа полученных результатов.

*Материальное обеспечение:* методические указания, стенд КИ-22205-01 для испытания и регулировки ТНВД дизельных двигателей, ТНВД, набор инструментов.

### Порядок выполнения практической работы

1. Перед выполнением практической работы необходимо ознакомиться с методическими указаниями, принципиальными схемами ТНВД и испытательного безмоторного стенда, а также подготовить протокол расчетов характеристик ТНВД по форме, приведенной в методических указаниях.

2. Перед снятием характеристик производится проверка и регулировка параметров ТНВД и комплектующих его элементов на соответствие ТУ:

– проверяется плотность плунжерных пар и герметичность нагнетательных клапанов;

– проверяется и при необходимости регулируется угол начала и равномерность подачи топлива по секциям.

3. Комплектование ТНВД на испытательном безмоторном стенде должно производиться контрольным комплектом форсунок, имеющих равное давление начала впрыска и равную пропускную способность, а также трубопроводами, равными по гидравлическому сопротивлению.

4. По указанию преподавателя студенты занимают рабочие места в лаборатории испытаний и на безмоторном стенде определяют основные показатели работы ТНВД тракторного дизеля.

5. Используя соответствующие расчетные формулы, произвести необходимые расчеты и построить график регуляторной характеристики

насосной секции ТНВД по форме, приведенной в методических указаниях.

6. Выполнить анализ полученных результатов.

7. Оформить отчет.

### Общие сведения

Техническое состояние топливной аппаратуры (ТА) тракторного дизеля в определяющей степени оказывает влияние на мощностные, экономические и экологические показатели дизеля, его надежность и долговечность, стабильность эксплуатационных показателей.

Это диктует необходимость периодической проверки и регулировки ТА на безмоторном стенде, чтобы ТА могла обеспечить в условиях эксплуатации подачу дозированных с установленной точностью порций топлива под высоким давлением по определенному закону в установленный период рабочего цикла и согласно порядку работы цилиндров.

В данной практической работе рассмотрено экспериментальное определение основных показателей ТНВД, устанавливаемых на тракторные дизели Д-243 и Д-260 производства ОАО «ММЗ» (Беларусь): УТН-5 (в эксплуатации), 4УТНИ (АО «НЗТА», РФ), РР4М10Р1f, РР6М10Р1i-3709 (Motorpal, Чехия), 772.1111005, 363.1111005-40.01Т (ОАО «ЯЗДА», РФ), 4 PL 318Q (Китай) и др.

Законы регулирования топливоподачи обычно иллюстрируются скоростными характеристиками, как наиболее легко представимыми и наиболее подходящими для общего анализа. При этом следует различать скоростную характеристику пары «плунжер–гильза» и скоростную характеристику насосной секции ТНВД. Во втором случае вместе с парой «плунжер–гильза» работает механизм всережимного регулятора ТНВД (пусковой обогатитель, корректор и собственно регулятор).

Таким образом, *скоростная характеристика пары «плунжер–гильза»* представляет собой зависимость цикловой подачи топлива плунжерной парой от частоты вращения кулачкового вала при отключенном всережимном регуляторе (например, при зафиксированной зубчатой рейке в положении, соответствующем номинальному скоростному режиму).

Скоростную характеристику насосной секции ТНВД чаще всего в технической литературе называют регуляторной характеристикой ТНВД.

*Регуляторная характеристика* – зависимость цикловой подачи топлива насосной секцией от частоты вращения кулачкового вала (при ее снятии работают все механизмы автоматического регулирования, входящие в состав всережимного регулятора ТНВД).

Для учебных целей в практикуме регуляторная характеристика ТНВД рассматривается как состоящая всего из двух ветвей: регуляторной и корректорной (по названию устройств, обеспечивающих автоматическое регулирование цикловой подачи на этих ветвях).

При графическом совмещении вышеописанных двух характеристик представляется возможность наглядно оценить работу регулятора и корректора топливного насоса (рис. 9.1).

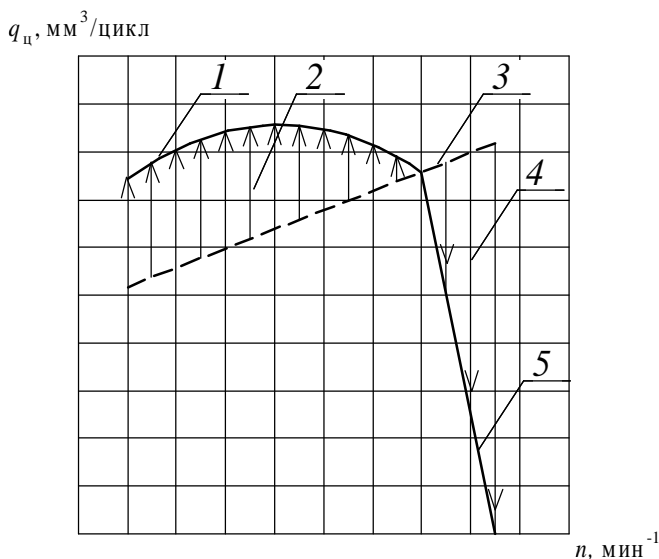


Рис. 9.1. Пример скоростной характеристики плунжерной пары и регуляторной характеристики насосной секции ТНВД при всережимном регулировании подачи топлива:

- 1 – корректорная ветвь регуляторной характеристики;
- 2 – увеличение цикловой подачи под действием корректора;
- 3 – скоростная характеристика;
- 4 – уменьшение цикловой подачи под действием регулятора;
- 5 – регуляторная ветвь регуляторной характеристики

Испытания ТНВД на испытательном безмоторном стенде КИ-22205-01 проводятся со стендовым комплектом форсунок и назначаются:

при диагностике ТА и проверке ТНВД на соответствие техническим условиям (ТУ) при: проверке состояния поставки, после ремонта ТНВД, перед постановкой дизеля или ТНВД на испытания и после испытаний.

### Методика испытаний

Основной задачей измерений является определение цикловой подачи топлива насосной секцией на различных скоростных режимах ТНВД.

Испытуемый ТНВД устанавливается на испытательный безмоторный стенд с возможностью прокручивания кулачкового вала ТНВД регулируемым электродвигателем (рис. 9.2).

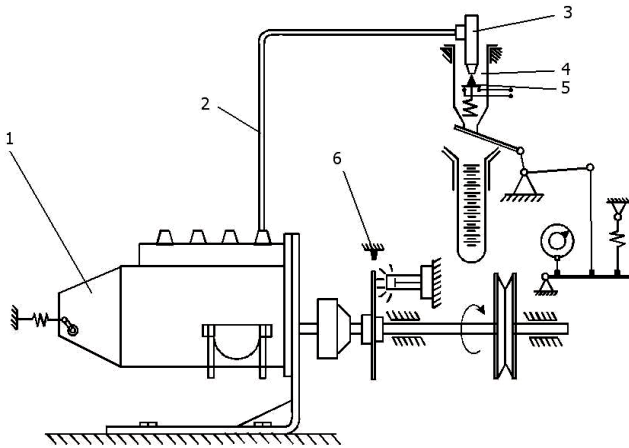


Рис. 9.2. Принципиальная схема испытательного безмоторного стенда для испытаний ТНВД:

- 1 – испытуемый ТНВД; 2 – топливопровод высокого давления;
- 3 – эталонная форсунка; 4 – пеногаситель; 5 – датчик начала подачи топлива;
- 6 – датчик частоты вращения

После запуска стенда рычаг регулятора ТНВД перемещается до упора в болт максимальных оборотов и фиксируется в этом положении.

Опыты начинают с максимальных оборотов холостого хода ТНВД. Для этого при помощи испытательного стенда частоту



вращения кулачкового вала ТНВД увеличивают до прекращения подачи топлива, то есть до  $n_{xx \max}$ .

Последующие опыты производят при постепенном снижении частоты вращения кулачкового вала. На регуляторной ветви производится как минимум один опыт при частоте вращения на  $50 \text{ мин}^{-1}$  меньше  $n_{xx \max}$ . Частота вращения, соответствующая началу работы регулятора, у насоса 4УТНИ определяется визуально в момент начала отхода рычага регулятора от головки болта номинала.

На корректорной ветви характеристики рекомендуется произвести не менее двух опытов, из которых один соответствует режиму максимальной цикловой подачи топлива,  $n_0$ , а второй является промежуточным между максимальной и номинальной подачей топлива.

Все полученные за опыт значения частоты вращения кулачкового вала ТНВД, количество рабочих циклов и подачи топлива по каждой секции вносятся в протокол испытаний, а затем рассчитываются цикловая подача и неравномерность подачи топлива отдельными секциями.

### Обработка результатов

В соответствии с ТУ основными показателями работы ТНВД модели 4УТНИ являются:

– средняя цикловая подача топлива при номинальной частоте вращения ТНВД  $1100 \text{ мин}^{-1}$ :  $77 \pm 2,0 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ ;

– цикловая подача топлива при частоте вращения ТНВД:

$800 \text{ мин}^{-1}$        $88 \pm 3,0 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ ;

$500 \text{ мин}^{-1}$        $74 \pm 3,5 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ ;

– частота вращения ТНВД при начале действия регулятора:  $1115\text{--}1135 \text{ мин}^{-1}$ ;

– полное автоматическое отключение подачи топлива через форсунки при частоте вращения ТНВД:  $1250 \text{ мин}^{-1}$ , не более;

– неравномерность подачи топлива по секциям при номинальной частоте вращения ТНВД  $1100 \text{ мин}^{-1}$ : 6 %, не более.

Таким образом, основной задачей измерений является определение цикловой подачи топлива насосной секцией на различных скоростных режимах ТНВД.

1. Цикловая подача топлива насосной секции ТНВД на каждом скоростном режиме определяется по зависимости:

$$q_{ц} = v 10^3 / i, \text{ мм}^3/\text{цикл};$$

где  $v$  – объем топлива, поданный за опыт элементом (насосной секцией) ТНВД в мерное устройство, см<sup>3</sup>;

$i$  – число циклов за опыт.

Для сведения: номинальная цикловая подача ТНВД устанавливается заводом-изготовителем на 10 %–12 % выше от реально реализуемой на двигателе для компенсации потерь при установке насоса на двигатель (из-за противодействия в цилиндре и разницы по температуре).

2. Неравномерность подачи топлива отдельными секциями ТНВД находится из выражения:

$$H = ((q_{ц \max} - q_{ц \min}) / q_{ц \text{cp}}) 100 \% = 2 (q_{ц \max} - q_{ц \min}) / (q_{ц \max} + q_{ц \min}) 100 \%,$$

где  $q_{ц \max}$  и  $q_{ц \min}$  – максимальная и минимальная цикловая подача насосных секций ТНВД, мм<sup>3</sup>/цикл.

Примечание 1: изменение количества топлива, подаваемого отдельными насосными секциями ТНВД, осуществляется поворотом втулки при ослабленном винте зубчатого сектора насосного элемента.

Примечание 2: регулировку номинальной цикловой подачи (максимального часового расхода топлива) можно произвести винтом номинальной подачи топлива. Вворачивание винта в корпус регулятора вызывает увеличение хода рейки и максимальной подачи топлива, выворачивание – уменьшение подачи.

Полученные результаты занести в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Протокол испытаний по снятию характеристик ТНВД 4УТНИ

№ опыта	$n$ , мин <sup>-1</sup>	Число циклов	Подача топлива секциями								Средняя цикловая подача, мм <sup>3</sup> /цикл	Неравномерность цикловой подачи, %
			первой		второй		третьей		четвертой			
			опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>	опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>	опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>	опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>		
1												
2												
3												

№ опыта	t, мин <sup>-1</sup>	Число циклов	Подача топлива секциями								Средняя цикловая подача, мм <sup>3</sup> /цикл	Неравномерность цикловой подачи, %
			первой		второй		третьей		четвертой			
			опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>	опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>	опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>	опыт, см <sup>3</sup>	цикл, мм <sup>3</sup>		
4												
5												
6												

Анализ построенной по полученным данным регуляторной характеристики позволяет оценить особенности закона топливоподачи, принятого для испытанного ТНВД.

Необходимо сравнить полученные значения показателей ТНВД с рекомендуемыми ТУ на данный ТНВД (приведены в тексте практической работы) и сделать выводы о состоянии ТНВД.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о топливной аппаратуре и ТНВД.
3. По заданию преподавателя, изобразить схему безмоторного стенда испытаний ТНВД.
4. Перечислите основные действия при проведении испытаний ТНВД.
5. Таблица протокола испытаний по снятию характеристик ТНВД 4УТНИ (табл. 9.1).

### Контрольные вопросы

1. Что называется цикловой подачей топлива?
2. Почему цикловая подача ТНВД на стенде больше цикловой подачи топлива при установке его на двигателе?
3. Объясните назначение пускового обогатителя.
4. Для чего предназначены корректор подачи топлива и регулятор ТНВД?
5. Дайте определение скоростной и регуляторной характеристик ТНВД тракторного дизеля.
6. Какая допускается неравномерность подачи топлива отдельными секциями ТНВД 4УТНИ на номинальном режиме?

## Практическая работа № 10

### ИЗУЧЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВС

#### *Цель работы:*

- 1) изучить конструкцию и принцип работы испытательного электрического тормозного стенда, контрольно-измерительного оборудования для испытаний поршневых двигателей внутреннего сгорания;
- 2) научиться работать с испытательным тормозным стендом и производить его тарировки;
- 3) освоить методики: измерения основных показателей работы двигателя и обработки полученных экспериментальных данных.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд, установки для измерения расхода топлива, термомпары.

#### **Порядок выполнения практической работы**

1. Изучить принципы работы испытательного стенда и измерительных приборов по методическому указанию.
2. Получить инструктаж преподавателя или лаборанта и ознакомиться со стендом в аудиториях 129–131.
3. Изучить методы проведения испытаний (холодная прокрутка двигателя, испытание двигателя под нагрузкой).
3. Оформить отчет.

#### **Общие сведения**

Испытания тракторных и комбайновых дизелей проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

Испытания автомобильных двигателей проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 14846–2020 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Указанные ГОСТы регламентируют методики испытаний, точность измерений, представление полученных результатов, рекомендуют контрольно-измерительное оборудование и т. п.

При этом основными показателями работы двигателя являются: эффективная мощность  $N_e$ , частота вращения коленчатого вала  $n$ ,

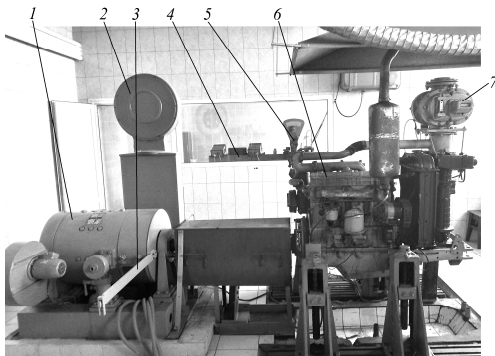
эффективный крутящий момент  $M_k$ , часовой расход топлива  $G_t$ , удельный эффективный расход топлива  $g_e$ .

При большинстве испытаний применяется метод торможения двигателя с помощью специальных тормозных устройств. В зависимости от способа создания тормозного момента различают механические, воздушные, гидравлические, индукторные и электрические тормоза.

Наибольшее применение при испытаниях автотракторных и комбайновых двигателей нашли электрические тормоза, которые используются не только для торможения, но и для холодной обкатки новых двигателей, двигателей после ремонта их кривошипно-шатунного механизма и определения мощности механических потерь методом прокручивания.

В состав такого испытательного стенда входит электрический тормоз с балансирной машиной постоянного или переменного тока. Балансирная машина позволяет измерить эффективный крутящий момент двигателя по принципу балансирного подвешивания корпуса тормоза. Весовым устройством измеряется момент корпуса тормоза, уравнивающий эффективный крутящий момент на валу испытуемого двигателя.

На рис. 10.1 показан испытательный тормозной стенд для моторных испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в лаборатории кафедры «Тракторы и автомобили».



*Рис. 10.1.* Испытательный тормозной стенд для моторных испытаний тракторных и автомобильных двигателей:

- 1 – балансирная машина; 2 – весовое устройство для определения крутящего момента;
- 3 – тарировочный рычаг; 4 – пульт управления;
- 5 – весовое устройство для определения расхода топлива;
- 6 – испытуемый двигатель; 7 – ротационный газовый счетчик

### ***Измерительные приборы и оборудование***

Для определения расхода топлива применяют устройства на основе обычных весов, электронные приборы типа CAN-расходомер и расходомеры DFM-типа.

CAN-расходомеры – это электронные приборы цифрового типа. Могут применяться при испытаниях на двигателях с электронным управлением подачей топлива. Принцип их работы основан на считывании данных с блока управления двигателем.

Устройство на основе обычных весов (рис. 10.2) – наиболее простой и достаточно точный способ измерения для определения часового расхода топлива. Измеряется время потребления двигателем заданного количества топлива.

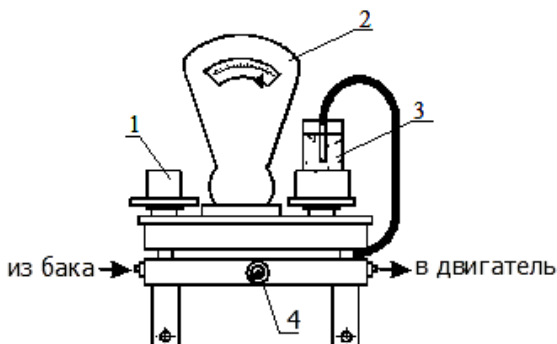


Рис. 10.2. Схема установки для измерения расхода топлива:

1 – балластный груз; 2 – весовое устройство;  
3 – топливный измерительный резервуар; 4 – трехходовой кран-переключатель

*Расходомер DFM «Технотон»* (рис. 10.3). Расходомер с двумя измерительными камерами называют двухкамерным или дифференциальным. Такие расходомеры измеряют расход топлива, как разницу объемов топлива, протекающих по подающей и обратной топливным магистралям, то есть объем топлива от бака к «двигателю» минус объем топлива от «двигателя» к баку. Расходомер топлива DFM имеет две объемные измерительные камеры кольцевого типа. Датчик формирует импульс при протекании объема топлива, равного объему измерительной камеры. Количество импульсов, формируемое датчиком при протекании через него топлива, маркируется на жгуте датчика и обозначается в паспорте изделия.

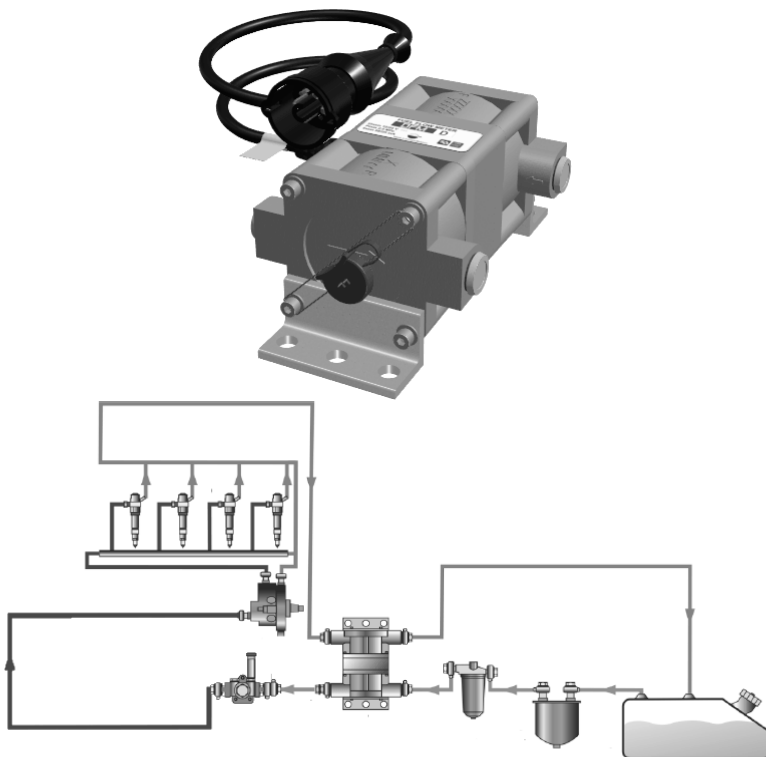


Рис. 10.3. Двухкамерный расходомер «Технотон» и схема его подключения

Для измерения оборотов коленчатого вала применяют электронные приборы (соответствующие требованиям ГОСТ по точности измерений) с датчиками различного типа. На испытательном стенде в ауд. 129–131 установлен прибор с фотоэлектрическим датчиком, воспринимающим изменение характеристик светового потока при прохождении его через отверстия в задающем диске. Диск и датчик расположены на валу якоря балансирной машины. На испытательных стендах применяются также приборы с датчиками на эффекте Холла, индуктивными и с другими типами датчиков.

Измерения температуры, давления рабочих жидкостей и воздуха производятся также электронными приборами с различными датчиками, которые выбираются в соответствии с требуемыми диапазоном измерений и точностью получения результатов.

## Методика испытаний

*Тарировка весового механизма испытательного стенда.* Для контроля правильности показаний весового механизма необходимо периодически производить его тарировку. При проведении ответственных испытаний тарировку приборов и устройств производят до и после проведения испытаний.

Проверка тарировки весового механизма испытательного стенда производится при помощи двуплечего тарировочного рычага в статическом и динамическом режимах.

*Статическая тарировка* производится при неработающем двигателе. Для этого, после установки стрелки весового устройства на 0, на одно из плеч двуплечего рычага на расстоянии 1,0 м от оси статора последовательно навешивают образцовые гири массой 5, 10, 15, 25, 30, 40 кг. После раскочки статора стрелка на шкале весового устройства должна устанавливаться соответственно величине момента, соответствующего нагрузке.

*Динамическая тарировка* производится при работающем двигателе. Для этого необходимо запустить двигатель, прогреть и установить полную подачу топлива. Управляющим устройством с пульта управления стендом последовательно установить несколько значений эффективного крутящего момента.

После установки определенного эффективного крутящего момента на плечо рычага нужно установить соответствующую образцовую гирю. При исправном стенде стрелка на весовом устройстве должна установиться на 0.

*Измерение основных показателей двигателя* производят в следующей последовательности:

1. Включить стенд, запустить и прогреть двигатель. Двигатель должен быть прогрет до температур охлаждающей жидкости и моторного масла, указанных заводом-изготовителем. При отсутствии таких указаний ГОСТ 18509–88 рекомендует поддерживать температуру охлаждающей жидкости на выходе из двигателя и температуру моторного масла в поддоне, или на выходе из двигателя, или перед масляным радиатором на уровне  $(90 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

2. Измерения показателей работы ДВС производятся при фиксированном значении частоты вращения коленчатого вала (регулируется положением рычага управления подачей топлива) и крутящего



момента. Заданная нагрузка (крутящий момент), контролируемая по шкале весового устройства, устанавливается управляющим устройством с пульта управления стендом.

3. После установления необходимого режима испытаний одновременно произвести запись показателей:

– эффективного крутящего момента  $M_k$ , Н·м;

– частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n$ , мин<sup>-1</sup>;

– времени расхода контрольной дозы топлива  $\tau_T$ , с (обычно  $\Delta G_T = 100$  г /  $\tau_T$ );

– иных показателей (в зависимости от цели испытаний).

4. Изменить нагрузку двигателя и вновь произвести измерения на следующем режиме работы.

5. При проведении моторных испытаний необходимо постоянно контролировать на двигателе по приборам: температуру охлаждающей жидкости, температуру и давление масла в местах установки заводских датчиков на двигателе. Рекомендуется всегда контролировать и регистрировать температуру отработавших газов.

6. В период проведения моторных испытаний фиксируются: температура, давление и относительная влажность окружающего воздуха. Также определяется плотность применяемого дизельного топлива.

Это необходимо для сравнимости результатов испытаний и для выполнения процедуры приведения полученных экспериментальных данных к стандартным: атмосферным условиям, температуре и плотности топлива. Приведение к стандартным условиям производится по методике и формулам, установленным, например, ГОСТ 18509–88.

7. Все измерения заносятся в протокол испытаний.

По результатам испытаний заносят в протокол испытаний значения  $M_k$ ,  $n$ ,  $\tau_T$  для каждого режима работы двигателя.

Рассчитываются следующие показатели работы двигателя:

– эффективная мощность, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550;$$

– часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 3,6 \Delta G / \tau_T;$$

– удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = 10^3 G_T / N_e.$$

Все расчеты при обработке результатов испытаний должны проводиться с точностью до трех-четырех значащих цифр.

Полученные результаты заносятся в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Протокол испытаний по определению основных показателей двигателя

№ опыта	$M_k$ , Н·м	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\Delta G$ , г	$\tau_T$ , с	$\Delta V_B$ , м <sup>3</sup>	$\tau_B$ , с	$N_e$ , кВт	$G_T$ , кг/ч	$g_e$ , г/(кВт·ч)

*Анализ полученных результатов.* В первую очередь, определив основные показатели работы испытанного двигателя, необходимо сравнить их с регламентированными показателями работы для данной модели двигателя и сделать заключение о соответствии или несоответствии испытанного двигателя техническим условиям, заявленным заводом-изготовителем.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Сведения о стенде и оборудовании. Принципиальные схемы тормозного стенда и вспомогательного оборудования.
3. Протокол испытаний.
4. Анализ результатов.

### Контрольные вопросы

1. Из чего состоит испытательный стенд для моторных испытаний двигателя? Как он работает?
2. С какой целью и каким образом производится тарировка стенда?
3. С какой точностью должны определяться показатели работы двигателя  $M_k$ ,  $n$ ,  $G_T$ ? Каким нормативным документом регламентируется точность измерений показателей работы двигателя?

4. С какой целью при испытаниях двигателей внутреннего сгорания обязательно измеряются давление, температура и относительная влажность окружающего воздуха, а также плотность применяемого дизельного топлива?

5. С какой целью при проведении моторных испытаний контролируются на двигателе: температура охлаждающей жидкости, температура и давление масла в местах установки заводских датчиков?

6. Как рассчитываются основные показатели работы двигателя по полученным экспериментальным данным?

## Практическая работа № 11

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВС

*Цель работы:* изучить методы определения условных механических потерь, определить их методом отключения цилиндров ДВС.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить методики по определению условных механических потерь двигателей внутреннего сгорания (ДВС).
2. Освоить методику определения условных механических потерь методом поочередного отключения цилиндров, обработки полученных данных.
3. Произвести расчет показателей двигателя по полученным данным.
4. Проанализировать результаты.
5. Оформить отчет.

#### Общие сведения

В двигателестроении для характеристики ДВС применяют следующие определения:

*Индикаторная мощность  $N_i$*  – мощность, развиваемая газами внутри цилиндра двигателя.

*Эффективная мощность  $N_e$*  – мощность, получаемая на коленчатом валу двигателя. Она меньше индикаторной мощности  $N_i$  на величину мощности механических потерь.

*Мощность механических потерь  $N_m$*  – мощность, затрачиваемая на трение в двигателе (трение поршней о стенки цилиндров, шеек коленчатого вала о подшипники и др.) и приведение в действие вспомогательных механизмов (газораспределительный механизм, вентилятор, водяной, масляный и топливный насосы, генератор и др.).

Методы стендовых моторных испытаний, позволяющие определить механические потери, представлены в ГОСТ 18509–88 (для тракторных и комбайновых дизелей) и ГОСТ 14846–2020 (для автомобильных двигателей). Эти стандарты весьма близки между

собой по содержанию, поэтому могут быть рассмотрены совместно. Для определения механических потерь этими стандартами предусмотрено использование следующих методов:

1. Снятие индикаторной диаграммы с определением эффективной мощности при торможении двигателя. Метод, несмотря на абсолютную теоретическую обоснованность, обладает достаточно высокой трудоемкостью применения. Кроме того, положенное в основу метода определение мощности механических потерь как разности между индикаторной и эффективной мощностями методически заключает в себе неизбежно высокую относительную погрешность (разность двух близких величин), достигающую в ряде случаев 18–25 %.

2. Снятие характеристики холостого хода – механические потери ставятся в соответствие расходу топлива. Снятие характеристики холостого хода, как и оценка экономичности по типовым нагрузочным и скоростным характеристикам, связано с погрешностью определения собственно расхода топлива, зависит от стабильности работы топливной аппаратуры, идентичности протекания рабочего процесса в сравниваемых случаях. Метод требует коррекции с целью минимизации влияния на расход топлива факторов, не связанных с механическими потерями (энергосбережением за счет снижения трения).

3. Прокручивания коленчатого вала неработающего двигателя (метод прокрутки). Определяется момент сопротивления, а по нему мощность механических потерь согласно общей зависимости. Из всех известных методов определения интегральных (суммарных) механических потерь наилучшим сочетанием показателей обладает этот метод. Его недостаток состоит в очень высокой (до 30 %) систематической погрешности, поэтому эффективное использование данного метода требует компенсации искажений (повышение вязкости моторного масла, снижение нагрузки на детали, разжижение масла топливом), вносимых отсутствием сгорания в цилиндрах при прокрутке.

4. Метод отключения цилиндров весьма прост в применении, но обладает высокой методологической погрешностью определения индикаторной мощности по разности двух близких величин, кроме того, вносит искажения в замер момента сопротивления, вызванные неизбежным снижением теплового состояния отключенного

цилиндра. Очевидно также, что данный метод в принципе неприемлем для одноцилиндровых, ограниченно применим для малоцилиндровых (менее четырех) двигателей и ДВС с наддувом.

### Методика испытаний

Для определения условных механических потерь методом очередного отключения цилиндров при заданной частоте вращения определяют разность между эффективной мощностью, развиваемой двигателем во время работы всех цилиндров, и эффективной мощностью, развиваемой двигателем при выключенной подаче топлива в одном из цилиндров. То есть последовательно определяется индикаторная мощность отдельных цилиндров.

*Измерения методом отключения цилиндров* производятся следующим образом:

1. Запустить двигатель, прогреть до рабочих температур, после чего установить рычаг управления всережимным регулятором ТНВД в положение максимальной подачи топлива.

2. Ручкой управления на пульте управления стендом установить режим максимальной (номинальной) мощности. Зафиксировать в протоколе испытаний значения максимального крутящего момента  $M_k$  и обороты двигателя  $n$ .

3. Отключить подачу топлива первого цилиндра, отвернув гайку крепления трубопровода высокого давления к форсунке. Уменьшая нагрузку с помощью пульта управления стендом, вывести двигатель опять на номинальный скоростной режим. Зафиксировать те же параметры в протоколе испытаний.

4. Повторить п. 3 при последовательном отключении (по одному) всех цилиндров.

*Обработка полученных данных.* По полученным данным рассчитать и занести в протокол испытаний следующие параметры:

1. Максимальную эффективную мощность двигателя  $N_{e \max}$  при работе всех цилиндров и эффективные мощности при отключении каждого  $m$ -го цилиндра  $N_{e m}$  (см. формулы в предыдущей работе).

2. Условную индикаторную мощность  $m$ -го цилиндра, кВт:

$$N_{i \text{ ц } m} = N_{e \max} - N_{e m}.$$

Полученные результаты заносятся в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Протокол испытаний по определению условных механических потерь двигателя

Опыты	Крутящий момент $M_k$ , Н·м	Частота вращения коленвала $n$ , мин <sup>-1</sup>	Эффективная мощность двигателя $N_{e\max}$ , кВт	Условная индикаторная мощность отключенного цилиндра $N_{i\text{ц}m}$ , кВт
на всех цилиндрах				
без первого				
без второго				
без третьего				
без четвертого				

3. Мощность условных механических потерь, кВт:

$$N_{мп} = N_i - N_{e\max} = \sum N_{i\text{ц}m} - N_{e\max},$$

где  $N_i$  – условная индикаторная мощность двигателя.

4. Условный механический КПД двигателя:

$$\eta_m = N_{e\max} / (N_{e\max} + N_{мп}) = N_{e\max} / N_i.$$

5. Коэффициент равномерности работы цилиндров:

$$\Delta = N_{i\text{ц}min} / N_{i\text{ц}max}.$$

Полученные результаты заносятся в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Показатели условных механических потерь двигателя

$N_{e\max}$ , кВт	$N_{мп}$ , кВт	$N_i$ , кВт	$\eta_m$	$\Delta$

*Анализ полученных результатов.* Полученные результаты необходимо сравнить с нормативными или с достигнутым уровнем анализируемых показателей в отечественной или мировой практике

автотракторного двигателестроения. Сделать вывод о соответствии или несоответствии испытанного двигателя нормам или достигнутому уровню механических потерь.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Сведения о методах определения механических потерь ДВС.
3. Методика расчета показателей ДВС.
4. Таблица с результатами расчетов.
5. Анализ полученных результатов и заключение по двигателю.

### **Контрольные вопросы**

1. Что характеризуют механические потери ДВС?
2. Какими способами определяют механические потери? Как они реализуются?
3. Как определяют механические потери методом прокрутки, на каком оборудовании это делают?
4. Что такое индикаторная и эффективная мощности ДВС?
5. Какие системы двигателя влияют на величину механических потерь?



## Практическая работа № 12

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

*Цель работы:* изучить методику снятия нагрузочной характеристики тракторного дизеля на испытательном стенде. Освоить методику измерения основных показателей двигателя при снятии нагрузочной характеристики тракторного дизеля. Научиться обрабатывать результаты испытаний, анализировать и оценивать работу двигателя по нагрузочной характеристике.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить методические указания и методики снятия нагрузочной характеристики тракторного дизеля на испытательном стенде (ДВС).
2. Изучить методику обработки результатов.
3. Произвести расчет показателей двигателя по полученным данным. Занести их в рекомендуемый протокол.
4. По результатам расчетов изобразить график нагрузочной характеристики.
5. Проанализировать нагрузочную характеристику.
6. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Определение и методика снятия нагрузочной характеристики тракторного дизеля приведены в ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

Нагрузочная характеристика – зависимость основных показателей двигателя от нагрузки (среднего эффективного давления или эффективной мощности) при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя. По результатам торможения двигателя на испытательном стенде нагрузочная характеристика представляется в виде изменения параметров в функции от среднего эффективного давления, крутящего момента или эффективной мощности (обычно

это изменение часового  $G_T$  и удельного  $g_e$  расходов топлива, а также коэффициента наполнения  $\eta_v$ , коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  и других параметров от нагрузки).

Пример нагрузочной характеристики приведен на рис. 12.1.

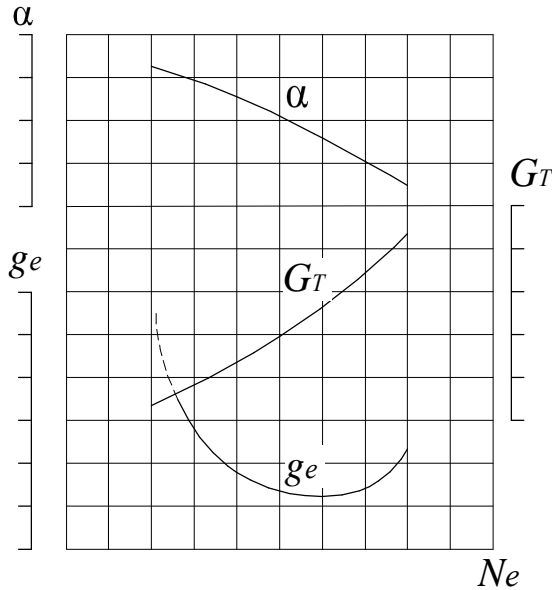


Рис. 12.1. Пример нагрузочной характеристики тракторного дизеля

Нагрузочные характеристики снимаются:

– для максимально точной оценки экономичности автотракторных дизелей, поскольку нагрузочная характеристика является самой стабильной из всех моторных характеристик, определенных ГОСТ 18509–88;

– при испытаниях ДВС, работающих в узком скоростном диапазоне; например, дизелей в составе дизель-генераторных установок, в приводе компрессоров, насосов и т. п.

Тракторные и автомобильные ДВС работают в широком скоростном диапазоне, поэтому обычно при испытаниях снимается серия нагрузочных характеристик, то есть нагрузочные характеристики при различных постоянных скоростных режимах во всем скоростном диапазоне двигателя.

ГОСТ 18509–88 требует снимать нагрузочную характеристику при постоянной частоте вращения коленчатого вала путем последовательного увеличения подачи топлива в пределах изменения нагрузки от нуля до нагрузки, соответствующей полной подаче топлива. Постоянство скоростного режима тракторного дизеля при снятии нагрузочной характеристики обеспечивается перемещением рычага управления подачей топлива и параллельным изменением момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя с помощью пульта управления стендом.

Характер изменения основных показателей тракторного дизеля по нагрузочной характеристике объясняется следующим:

1) с увеличением нагрузки часовой расход топлива также увеличивается, поскольку увеличение нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала связано с увеличением момента сопротивления дизелю и соответствующим увеличением цикловой подачи топлива;

2) при увеличении нагрузки и увеличении часового расхода топлива удельный эффективный расход топлива вначале будет уменьшаться, вследствие уменьшения относительной величины механических потерь, а затем повышаться из-за уменьшения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ ;

3) так как сопротивление на впуске у четырехтактных дизелей при работе по нагрузочной характеристике остается неизменным, то коэффициент наполнения  $\eta_v$  в пределах средних мощностей изменяется незначительно. При дальнейшем увеличении мощности до номинальной, происходит снижение расхода воздуха из-за большего подогрева его от стенок цилиндров, что вызывает дополнительное снижение коэффициента наполнения  $\eta_v$ . При превышении номинальной мощности коэффициент наполнения  $\eta_v$  уменьшается более интенсивно, что обуславливается заметным ростом температуры стенок цилиндров и температуры остаточных газов, а отсюда и большим подогревом свежего заряда в связи с заметным переносом процесса сгорания на линию расширения. В результате коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  уменьшается с 6 единиц на режимах, близких к холостому ходу, до 1,4–1,8 на полной нагрузке (для безнаддувного дизеля). С уменьшением  $\alpha$  индикаторный КПД снижается вследствие химической неполноты сгорания. Очевидно, что при нагрузке, соответствующей максимальному

значению  $\eta_v$ , удельный эффективный расход топлива будет иметь минимальное значение. При отклонении от этого режима как в сторону меньших, так и в сторону больших нагрузок, удельный эффективный расход топлива увеличивается.

### **Методика испытаний**

*Определение и построение нагрузочной характеристики.* Перед испытаниями выбираются скоростные режимы двигателя и характеристики, которые необходимо снять.

После запуска и прогрева двигателя рычаг управления подачей топлива устанавливается в положение, когда достигается принятый скоростной режим при минимально возможной нагрузке. После стабилизации режима работы двигателя выполняются измерения на данном режиме работы двигателя. Необходимые характеристики заносятся в протокол.

При каждом последующем опыте постепенно увеличивается нагрузка и подача топлива при сохранении заданного скоростного режима. Для построения нагрузочной характеристики ГОСТ 18509–88 рекомендует провести не менее 8 опытов.

Последний опыт производится при положении рычага управления подачей топлива, соответствующем максимальной подаче топлива и предельному значению нагрузки на заданном скоростном режиме.

Интервал перемещения рычага управления подачей топлива рекомендуется постепенно сокращать при приближении к предельному положению.

После завершения испытаний двигатель переводится на режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

*Обработка результатов испытаний.* По полученным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы тракторного дизеля по нагрузочной характеристике:

1. Эффективная мощность двигателя, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550;$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>.

2. Часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 3,6 \Delta G / \tau_T;$$

где  $\Delta G$  – контрольная доза топлива, г;

$\tau_T$  – время расходования дизелем контрольной дозы топлива за опыт, с.

Удельный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = 10^3 G_T / N_e.$$

Среднее эффективное давление, МПа:

$$p_e = 30 \tau_d N_e / (i V_h n),$$

где  $\tau_d$  – тактность двигателя (количество ходов поршня за рабочий цикл двигателя);

$i$  – число цилиндров;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра, л.

Часовой расход впускного воздуха, кг/ч:

$$G_B = \rho_{\text{окр}} V_B;$$

где  $\rho_{\text{окр}}$  – плотность окружающего воздуха в условиях опыта, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{окр}} = 3,48 B_{\text{окр}} / t_{\text{окр}} + 273,$$

где  $B_{\text{окр}}$  – барометрическое давление, кПа;

$t_{\text{окр}}$  – температура окружающего воздуха, °С;

$V_B$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_B = 3600 \Delta V / \tau_B,$$

где  $\Delta V$  – контрольный объем воздуха при измерении, м<sup>3</sup>;

$\tau_B$  – время расходования дизелем контрольного объема воздуха, с.

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = G_v / G_{\text{теор}},$$

где  $G_{\text{теор}}$  – теоретический расход воздуха, кг/ч:

$$G_{\text{теор}} = 120 n i V_h \rho_{\text{окр}} / (10^3 \tau_d).$$

Коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = G_v / l_0 G_T,$$

где  $l_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива,  $l_0 = 14,4 \text{ кг}_{\text{воздуха}}/\text{кг}_{\text{топлива}}$  – для дизельного топлива среднего элементарного состава: C = 0,86, H = 0,13, O = 0,01.

Результаты заносим в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Протокол испытаний по определению и построению нагрузочной характеристики тракторного дизеля

№ опыта	$M_{\text{к}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$n, \text{мин}^{-1}$	$\Delta G, \text{г}$	$\tau_T, \text{с}$	$\Delta V_{\text{в}}, \text{м}^3$	$\tau_{\text{в}}, \text{с}$	$N_{\text{к}}, \text{кВт}$	$G_T, \text{кг/ч}$	$g_e, \text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$	$\Delta V, \text{м}^3$	$\tau_{\text{в}}, \text{с}$	$V_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$\rho_{\text{окр}}, \text{кг}/\text{м}^3$	$G_v, \text{кг/ч}$	$\eta_v$	$\alpha$
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																

После определения значений всех перечисленных выше показателей для каждого опыта (каждой точки характеристики), производится

построение графиков нагрузочной характеристики по образцу, рекомендуемому методическими указаниями.

*Анализ полученных результатов.* Анализ построенной нагрузочной характеристики позволяет оценить топливную экономичность дизеля и косвенно его техническое состояние, правильность регулировок двигателя.

Рекомендуется сравнить полученные значения показателей двигателя с аналогичными показателями лучших образцов отечественной и зарубежной автотракторной техники.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Сведения о нагрузочной характеристике дизеля.
3. Методика расчета показателей двигателя.
4. Протокол испытаний и графики нагрузочной характеристики.
5. Анализ полученных результатов и заключение по двигателю.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется нагрузочной характеристикой двигателя?
2. Каким нормативным документом задаются требования по снятию нагрузочной характеристики тракторного дизеля?
3. С какой целью снимается нагрузочная характеристика двигателя?
4. В чем заключается методика снятия нагрузочной характеристики тракторного дизеля?
5. Чем объясняется изменение коэффициента наполнения двигателя при изменении нагрузки?
6. При каком режиме работы дизельного двигателя отмечается минимальный удельный эффективный расход топлива?

## Практическая работа № 13

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

*Цель работы:* изучить методику снятия регуляторной характеристики, научиться обрабатывать результаты испытаний, анализировать и оценивать работу двигателя по регуляторной характеристике.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Изучить методические указания и методики снятия регуляторной характеристики тракторного дизеля на испытательном стенде.
2. Изучить методику обработки результатов.
3. Произвести расчет показателей двигателя по полученным данным. Занести их в рекомендуемый протокол.
4. По результатам расчетов начертить графики регуляторной характеристики.
5. Проанализировать регуляторную характеристику.
6. Оформить отчет.

#### Общие сведения

В реальных условиях эксплуатации дизели работают при одновременном изменении нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. Автоматическое регулирование подачи топлива и, соответственно, мощности, развиваемой двигателем в зависимости от изменения внешней нагрузки, осуществляется всережимным регулятором или иными устройствами регулирования подачи топлива. Изменение показателей двигателя при работе с регулятором (то есть с управлением подачи топлива через регулятор) оценивается по регуляторным характеристикам. Регуляторную (скоростную) характеристику дизеля строят как зависимость мощностных ( $M_e$ ,  $N_e$ ), экономических ( $G_T$ ,  $g_e$ ) и других показателей двигателя от частоты вращения, то есть  $M_e$ ,  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e = f(n_e)$ . Кроме того, регуляторные характеристики могут быть представлены как зависимость



основных показателей двигателя от крутящего момента  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$ ,  $n_e = f(M_e)$  или от эффективной мощности  $M_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$ ,  $n_e = f(M_e)$ .

Определение и методика снятия регуляторной характеристики тракторного дизеля приведены в ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». Указанный ГОСТ требует снятия регуляторной характеристики при проведении периодических и типовых испытаний. Таким образом, регуляторная характеристика относится к основным моторным характеристикам тракторных дизелей.

В соответствии с ГОСТ 18509–88 регуляторной характеристикой называется зависимость основных показателей работы тракторного дизеля от его эффективной мощности при постоянном положении рычага управления подачей топлива ТНВД.

Если рычаг регулятора ТНВД установлен на полную подачу топлива, то характеристика называется внешней регуляторной характеристикой.

Если рычаг регулятора ТНВД установлен на частичную подачу топлива, то получают частичные регуляторные характеристики.

Пример внешней регуляторной характеристики дан на рис. 13.1, 13.2.

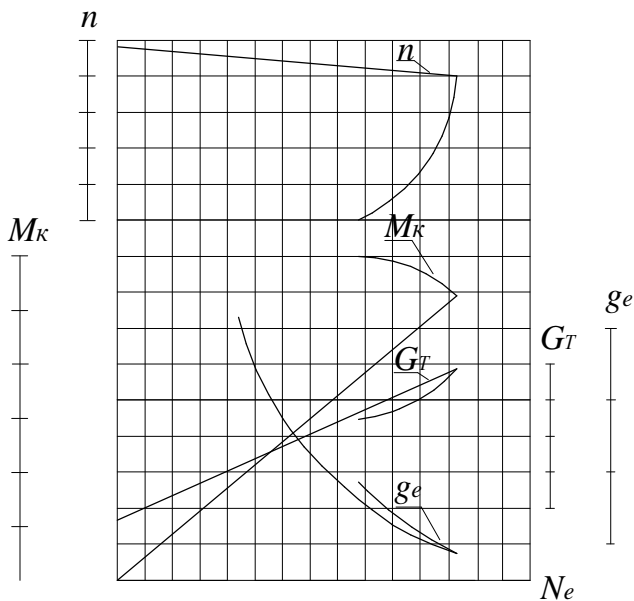


Рис. 13.1. Пример внешней регуляторной характеристики тракторного дизеля

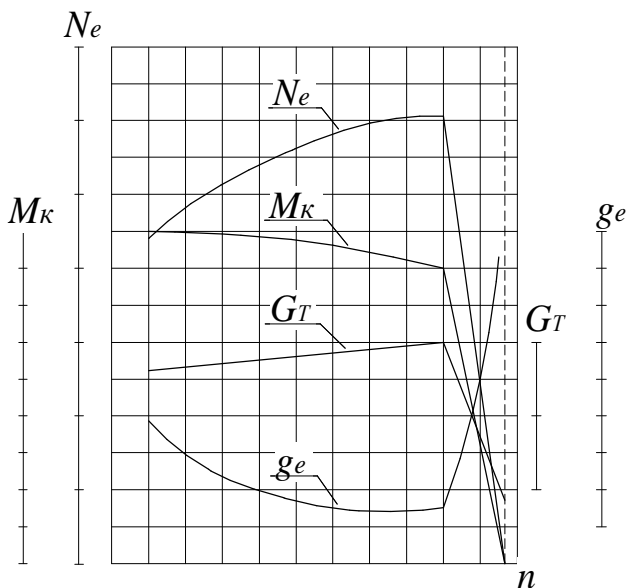


Рис. 13.2. Пример внешней регуляторной (скоростной) характеристики тракторного дизеля

Регуляторные характеристики снимаются на испытательном стенде для оценки основных показателей работы дизеля, которые зависят как от его технического состояния, так и от основных регулировок дизеля.

### Методика испытаний

*Определение и построение регуляторной характеристики.* После запуска и прогрева двигателя рычаг управления регулятором устанавливается в положение максимальной подачи топлива и фиксируется (внешняя регуляторная характеристика). При необходимости снимают частичные регуляторные характеристики. Тогда рычаг управления регулятором устанавливается на частичную подачу топлива.

Первый опыт проводится при минимально возможной нагрузке на тормозе. После стабилизации установленного режима работы двигателя выполняются необходимые измерения. Одновременно замеряются и вносятся в протокол испытаний: крутящий момент,

частота вращения коленчатого вала и время расходования контрольной дозы топлива, а также при необходимости показания других измерительных устройств (температура выхлопных газов, массовый расход воздуха и т. п.).

Второй и последующие опыты проводят путем увеличения нагрузки, при сохранении положения рычага управления подачей топлива. При этом выполняются все измерения, производимые в первом опыте.

Интервал изменения нагрузки следует сократить при подходе к номинальному скоростному режиму. Число опытов в режиме перегрузки (на коррекционной ветви характеристики) должно быть достаточным для того, чтобы выявить перегиб графика крутящего момента. Таким образом, для построения регуляторной характеристики рекомендуется провести по 3-4 опыта как на регуляторной, так и на коррекционной ветви характеристики.

После завершения испытаний двигатель переводится на режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

В процессе проведения опытов все выполненные измерения заносятся в протокол испытаний.

*Обработка результатов испытаний.* По полученным у преподавателя данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы тракторного дизеля по регуляторной характеристике:

– эффективная мощность двигателя, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550,$$

где  $n$  – частота вращения коленвала,  $\text{мин}^{-1}$ ;

– часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 3,6 \Delta G / \tau_T,$$

где  $\Delta G$  – доза топлива, г;

$\tau_T$  – время расхода дозы топлива за опыт, с;

– удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = 10^3 G_T / N_e;$$

– коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = G_B / l_0 G_T,$$

где  $l_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива,  $l_0 = 14,4 \text{ кг}_{\text{воздуха}}/\text{кг}_{\text{топлива}}$  – для дизельного топлива среднего элементарного состава: С = 0,86, Н = 0,13, О = 0,01.

Полученные данные заносим в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Протокол испытаний по определению и построению внешней регуляторной характеристики тракторного дизеля

№ опыта	$n, \text{ мин}^{-1}$	$M_k, \text{ Н·м}$	$\Delta G, \text{ г}$	$\tau_r, \text{ с}$	$\Delta V, \text{ м}^3$	$\tau_B, \text{ с}$	$t_r, \text{ }^\circ\text{C}$	$N_e, \text{ кВт}$	$G_T, \text{ кг/ч}$	$g_e, \text{ г/(кВт·ч)}$	$V_B, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\rho_{\text{возр}}, \text{ кг/м}^3$	$G_B, \text{ кг/ч}$	$\alpha$
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														

После определения значений всех перечисленных выше показателей для каждого опыта (каждой точки характеристики) производится построение графиков регуляторной характеристики по образцу, рекомендуемому преподавателем.

Анализ построенной регуляторной характеристики дизеля позволяет определить мощностные и экономические параметры дизеля

и сравнить их с техническими условиями завода-изготовителя, определить правильность настройки регулятора и др.

В процессе эксплуатации тракторный дизель наиболее часто работает на режимах, определяемых регуляторной ветвью характеристики. При увеличении нагрузки на двигатель и снижении при этом частоты вращения коленчатого вала регулятор ТНВД увеличивает подачу топлива путем перемещения рейки ТНВД, обеспечивая устойчивую работу двигателя.

При увеличении нагрузки свыше номинальной дизель работает на корректорной ветви характеристики. При этом рейка ТНВД под воздействием пружины корректора перемещается в сторону дополнительного увеличения цикловой подачи топлива. Все это обеспечивает увеличение крутящего момента двигателя и преодоление перегрузок без переключения на пониженную передачу трансмиссии трактора.

Таким образом, регуляторная ветвь является основной частью характеристики и по ней определяется степень неравномерности регулятора частоты вращения коленчатого вала:

$$\delta = 2 (n_{xx \max} - n_n) / (n_{xx \max} + n_n) 100 \%,$$

где  $n_{xx \max}$  – максимальная частота вращения коленчатого вала на холостом ходу двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_n$  – номинальная частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

На корректорной ветви двигатель работает в перегрузочном режиме и работа корректора оценивается корректорным коэффициентом запаса крутящего момента, %:

$$\mu_k = 100 (M_{k \max o} - M_{k \max No}) / M_{k \max No},$$

где  $M_{k \max o}$  – приведенный максимальный крутящий момент, Н·м;

$M_{k \max No}$  – приведенный крутящий момент на режиме максимальной мощности, Н·м.

Регуляторные характеристики применяются для их сравнения у разных машин (двигателей) по аналогичным показателям. Степень

совершенства двигателя определяется сравнением регуляторных характеристик с аналогичными характеристиками лучших образцов отечественной и зарубежной техники.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Сведения о регуляторных характеристиках дизелей.
3. Методика расчета показателей регуляторной характеристики.
4. Результаты расчетов (табл. 13.1).
5. График регуляторной характеристики (по заданию преподавателя).
6. Анализ полученных результатов и заключение по двигателю.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется регуляторной характеристикой тракторного дизеля?
2. В чем различие между внешней и частичными регуляторными характеристиками тракторного дизеля?
3. В каком порядке выполняется снятие регуляторной характеристики тракторного дизеля?
4. С какой целью снимается регуляторная характеристика дизеля?
5. Какие ветви различают в регуляторной характеристике дизеля?
6. Какие оценочные параметры тракторного дизеля определяются по регуляторной характеристике?
7. Как определяется степень неравномерности регулятора?

## Практическая работа № 14

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПО ДАВЛЕНИЮ НА ВПУСКЕ И ВЫПУСКЕ

*Цель работы:* изучить методики снятия регулировочных характеристик по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля на испытательном стенде.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд для моторных испытаний тракторных и автомобильных двигателей.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол расчетных показателей ДВС по форме, приведенной в методических указаниях.

2. Перед началом работы в протоколе расчетных показателей ДВС записать барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха. В протокол расчетных характеристик ДВС заносится плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3. Выполнить обработку полученных данных, построить графики регулировочных характеристик.

4. Проанализировать результаты проведенных расчетных характеристик ДВС.

6. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Термины и определения, методики снятия регулировочных характеристик по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля даны в ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

Регулировочными характеристиками по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля называются зависимости основных показателей работы двигателя от давления на впуске и выпуске двигателя при постоянных: часовом расходе топлива и частоте вращения коленчатого вала двигателя.

По требованиям ГОСТ 18509–88 для определения указанных регулировочных характеристик вначале следует определить нагрузочные характеристики при различных давлениях на впуске и выпуске. Сами регулировочные характеристики определяют при постоянном часовом расходе топлива.

ГОСТ 18509–88 допускает определять указанные регулировочные характеристики путем последовательного изменения давления на впуске и выпуске при постоянных расходе топлива и частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Примеры регулировочных характеристик по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля приведены на рис. 14.1, 14.2.

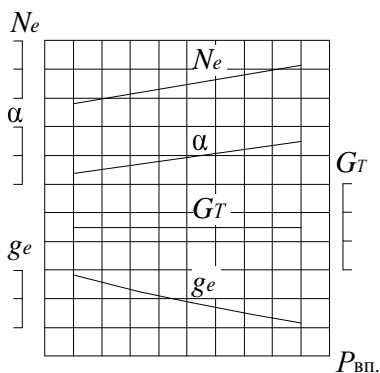


Рис. 14.1. Пример регулировочной характеристики по давлению на впуске тракторного дизеля

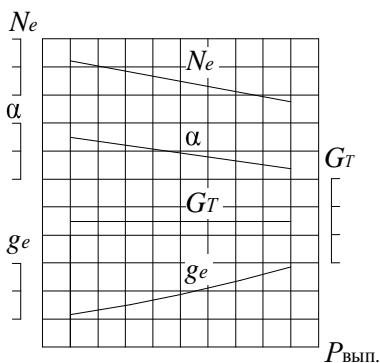


Рис. 14.2. Пример регулировочной характеристики по давлению на выпуске тракторного дизеля



Снятие таких характеристик обычно назначается при модернизации систем впуска и выпуска. Экспериментальные исследования такого рода являются несложными и часто применяются для технико-экономической оценки мероприятий по модернизации двигателей.

### **Методика испытаний**

Перед испытаниями преподавателем назначается количество опытов и примерная разбивка ожидаемого изменения давления на впуске и выпуске двигателя на количество точек характеристики.

Испытания выполняются путем последовательного изменения давления на впуске и выпуске при постоянных расходе топлива и частоте вращения коленчатого вала двигателя.

При выполнении испытаний необходимо:

- измерять давление на впуске или выпуске при сохранении постоянного положения рычага управления подачей топлива и постоянного скоростного режима двигателя;

- устанавливать постоянный скоростной режим двигателя путем воздействия на электромашину испытательного стенда через управляющее устройство пульта управления;

- измерять расходы топлива и впускного воздуха;

- поддерживать необходимые температурные режимы охлаждающей жидкости и моторного масла;

- регистрировать: показания весового устройства стенда, скоростной режим двигателя, температуру охлаждающей жидкости, моторного масла, отработавших газов и окружающей среды, а также давление в смазочной системе и барометрическое давление окружающей среды.

В процессе проведения опытов все выполненные измерения заносятся в протокол испытаний.

#### ***Снятие регулировочной характеристики по давлению на впуске***

После запуска и прогрева двигателя первый опыт производится путем установки рычага управления подачей топлива в такое положение, когда достигается принятый скоростной режим при установленной нагрузке и при начальном положении устройства регулирования давления на впуске. После стабилизации режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения измерений на данном режиме работы двигателя.

При каждом последующем опыте учебным мастером (лаборантом) постепенно увеличивается сопротивление на впуске и, соответственно, достигается уменьшение давления на впуске. При этом экономичность работы двигателя ухудшается и снижается частота вращения коленчатого вала. Для восстановления скоростного режима стенда необходимо снизить момент сопротивления двигателю с помощью тормозного устройства испытательного стенда. При постоянном положении рычага управления подачей топлива и постоянном скоростном режиме часовой расход топлива будет постоянным, то есть будет выполняться условие снятия указанной регулировочной характеристики.

### ***Снятие регулировочной характеристики по давлению на выпуске***

После запуска и прогрева двигателя первый опыт производится путем установки рычага управления подачей топлива в такое положение, когда достигается принятый скоростной режим при установленной нагрузке и при начальном положении устройства регулирования давления на выпуске. После стабилизации режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения измерений на данном режиме работы двигателя.

При каждом последующем опыте учебным мастером (лаборантом) постепенно увеличивается сопротивление на выпуске и, соответственно, достигается увеличение давления на выпуске. При этом экономичность работы двигателя ухудшается и снижается частота вращения коленчатого вала. Для восстановления скоростного режима стенда необходимо снизить момент сопротивления двигателю с помощью тормозного устройства испытательного стенда. При постоянном положении рычага управления подачей топлива и постоянном скоростном режиме часовой расход топлива будет постоянным, то есть будет выполняться условие снятия указанной регулировочной характеристики.

После завершения испытаний двигатель переводится на режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

## **Обработка результатов**

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол расчетных показателей ДВС следующие

расчетные показатели работы тракторного дизеля по регулировочным характеристикам:  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$ ,  $G_B$ ,  $\alpha$ .

Рассчитываются следующие показатели работы двигателя:

– эффективная мощность, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550;$$

– часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 3,6 \Delta G / \tau_T;$$

– удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = 10^3 G_T / N_e.$$

Коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = G_B / l_0 G_T,$$

где  $l_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива,  $l_0 = 14,4 \text{ кг}_{\text{воздуха}}/\text{кг}_{\text{топлива}}$  – для дизельного топлива среднего элементарного состава: С = 0,86, Н = 0,13, О = 0,01.

Часовой расход впускного воздуха, кг/ч:

$$G_B = \rho_{\text{окр}} V_B,$$

где  $\rho_{\text{окр}}$  – плотность окружающего воздуха в условиях опыта, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{окр}} = 3,48 B_{\text{окр}} / t_{\text{окр}} + 273,$$

где  $B_{\text{окр}}$  – барометрическое давление, кПа;

$t_{\text{окр}}$  – температура окружающего воздуха, °С;

$V_B$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_B = 3600 \Delta V / \tau_B,$$

где  $\Delta V$  – контрольный объем воздуха при измерении, м<sup>3</sup>;

$\tau_B$  – время расходования дизелем контрольного объема воздуха, с.

После определения значений всех перечисленных выше показателей для каждого опыта (каждой точки характеристики) производится построение графиков регулировочных характеристик по образцу, рекомендуемому методическими указаниями.

Полученные результаты заносятся в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Протокол испытаний по определению и построению регулировочной характеристики тракторного дизеля по давлению на впуске (выпуске)

№ опыта	$P_{\text{вп. (выпл.)}}$ , МПа	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$M_{\text{кв}}$ , Н·м	$\Delta G$ , г	$\tau_{\text{п}}$ , с	$\Delta V$ , м <sup>3</sup>	$\tau_{\text{вп}}$ , с	$t_{\text{г}}$ , °С	$N_e$ , кВт	$G_{\text{г}}$ , кг/ч	$g_{\text{св}}$ , г/(кВт·ч)	$V_{\text{вп}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$\rho_{\text{окр}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$G_{\text{вп}}$ , кг/ч	$\alpha$
1															
2															
3															
4															
5															
6															

Объясните изменение основных показателей двигателя по полученным регулировочным характеристикам.

Сравните полученные значения основных показателей работы двигателя с аналогичными показателями лучших образцов отечественной и зарубежной автотракторной техники.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Методика измерения основных показателей двигателя при снятии регулировочных характеристик на впуске и выпуске дизеля.
3. Расчет показателей работы тракторного дизеля по регулировочным характеристикам.
4. Протокол расчетных показателей ДВС (табл. 14.1).
5. Регулировочная характеристика по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля, построенная по результатам протокола расчетных показателей ДВС (табл. 14.1).

## **Контрольные вопросы**

1. Что называется регулировочной характеристикой по давлению на впуске тракторного дизеля?
2. Что называется регулировочной характеристикой по давлению на выпуске тракторного дизеля?
3. Какова методика снятия регулировочных характеристик по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля?
4. С какой целью снимаются регулировочные характеристики по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля?
5. Какие оценочные показатели тракторного дизеля определяются по регулировочным характеристикам по давлению на его впуске и выпуске?
6. Какое влияние оказывают изменения давления на впуске и выпуске тракторного дизеля на работу и основные показатели двигателя?

## Практическая работа № 15

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПО УГЛУ ОПЕРЕЖЕНИЯ НАЧАЛА ПОДАЧИ ТОПЛИВА

*Цель работы:* изучить методику снятия регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива на испытательном стенде.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд для моторных испытаний тракторных и автомобильных двигателей.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол расчетных показателей ДВС по форме, приведенной в методических указаниях.
2. Перед началом работы в протоколе расчетных показателей ДВС записать барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха. В протокол расчетных характеристик ДВС заносится плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.
3. Выполнить обработку полученных данных, построить графики регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива.
4. Проанализировать результаты проведенных испытаний.
5. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Регулировочная характеристика по установочному углу опережения начала подачи топлива – зависимость основных показателей работы дизеля от угла опережения подачи топлива при постоянной частоте вращения коленчатого вала и неизменном положении рычага управления подачей топлива.

Угол опережения начала подачи топлива измеряется в градусах поворота коленчатого вала относительно верхней мертвой точки.

Основы методики снятия регулировочной характеристики по установочному углу опережения начала подачи топлива тракторного дизеля определены ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

Пример регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива дан на рис. 15.1.

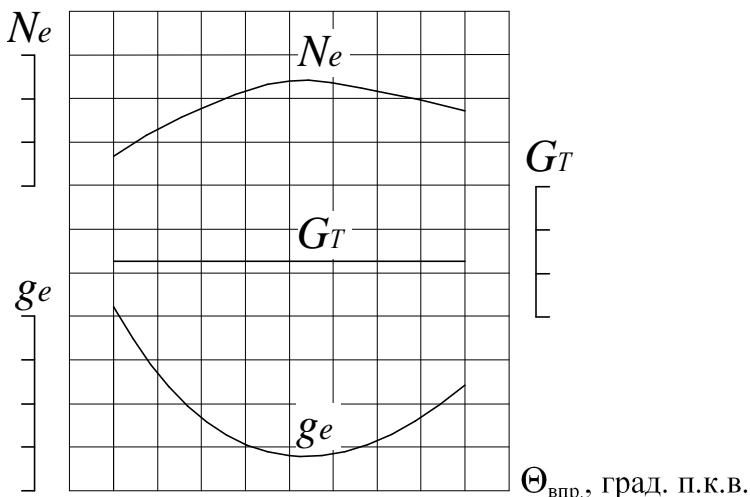


Рис. 15.1. Пример регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива

Угол опережения начала подачи топлива оказывает большое влияние на все эксплуатационные показатели дизеля, поэтому является важнейшим регулировочным параметром.

Указанная регулировочная характеристика снимается с целью определения оптимального угла опережения начала подачи топлива. Критерием оптимальности может служить экономичность, эффективная мощность, жесткость работы, экологическая безопасность или компромисс между этими показателями двигателя.

Оптимальный угол опережения подачи топлива зависит от степени сжатия, сорта дизельного топлива, давления и температуры на впуске и выпуске, характеристики подачи топлива, способа смесеобразования, частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя.

## Методика испытаний

Для тракторных дизелей регулировочная характеристика по установочному углу опережения начала подачи топлива в первую очередь снимается при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Для проведения эксперимента могут быть использованы технические операции, предусмотренные заводом-изготовителем, по регулированию угла опережения подачи топлива.

Например, в процессе эксплуатации ТНВД модели 4УТНИ угол опережения начала подачи топлива регулируется с помощью изменения положения шлицевого фланца относительно шестерни привода ТНВД.

Для лабораторных целей ТНВД дизеля может быть оборудован устройством бесступенчатого изменения установочного угла опережения начала подачи топлива.

Установочный угол опережения начала подачи топлива на двигателе определяют по моментоскопу.

Преподавателем назначается количество опытов, скоростной и нагрузочный режимы работы двигателя. Каждому студенту дается конкретное задание по регулированию скоростного и нагрузочного режимов или по выполнению измерений.

Измерения выполняются в следующей последовательности.

Устанавливается угол опережения начала подачи топлива, величина которого на  $6^{\circ}$ – $10^{\circ}$  поворота коленчатого вала меньше рекомендованного заводом-изготовителем.

Дизель запускается и прогревается.

Рычаг управления подачей топлива ТНВД фиксируется в положении, соответствующем полной подаче топлива.

Устанавливается заданная постоянная частота вращения коленчатого вала дизеля с помощью тормозного устройства испытательного стенда.

После стабилизации режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения измерений. Измеряются следующие показатели: крутящий момент, частота вращения коленчатого вала, время расходования контрольной дозы топлива, температура отработавших газов. При наличии в лаборатории газоанализаторов отработавших газов производится определение экологических показателей работы дизеля.



Для всех последующих опытов установочный угол опережения начала подачи топлива увеличивают не более чем на  $4^\circ$  поворота коленчатого вала.

Последний опыт проводят при установочном угле опережения подачи топлива, величина которого на  $6^\circ$ – $10^\circ$  поворота коленчатого вала больше рекомендованного заводом-изготовителем.

После завершения испытаний двигатель переводится в режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

### Обработка результатов

По полученным данным рассчитываются и вносятся в протокол значения следующих показателей:  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$ .

Эффективная мощность, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550.$$

Часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 3,6 \Delta G / \tau_T.$$

Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = 10^3 G_T / N_e.$$

После определения значений всех перечисленных выше показателей для каждого опыта (каждой точки характеристики) производится построение графиков регулировочных характеристик по образцу, рекомендуемому методическими указаниями.

Полученные результаты заносятся в табл. 15.1.

Далее следует объяснить характер изменения основных показателей работы тракторного дизеля при изменении установочного угла опережения начала подачи топлива.

Определить оптимальный угол опережения начала подачи топлива с точки зрения наилучшей экономичности двигателя.

Сравнить полученные результаты с аналогичными техническими показателями лучших образцов отечественной и зарубежной техники.

Таблица 15.1

Протокол испытаний по определению и построению регулировочной характеристики тракторного дизеля по углу опережения начала подачи топлива

№ опыта	$\Theta_{\text{впр}}$ , град п.к.в.	$M_k$ , Н·м	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\Delta G$ , г	$\tau_r$ , с	$N_e$ , кВт	$G_r$ , кг/ч	$g_e$ , г/(кВт·ч)
1								
2								
3								
4								
5								
6								

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Методика измерения регулировочной характеристики по установочному углу опережения начала подачи топлива.
3. Расчет показателей работы тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива.
4. Заполненная таблица протокола испытаний по определению и построению регулировочной характеристики тракторного дизеля по углу опережения начала подачи топлива (табл. 15.1).
5. Регулировочная характеристика тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива, построенная по результатам протокола расчетных показателей ДВС (табл. 15.1).

### Контрольные вопросы

1. Что называется регулировочной характеристикой по установочному углу опережения начала подачи топлива дизельного двигателя?
2. С какой целью снимается регулировочная характеристика по установочному углу опережения начала подачи топлива дизеля?

3. Какие условия необходимы для снятия регулировочной характеристики по установочному углу опережения начала подачи топлива дизеля?

4. Как влияет угол опережения начала подачи топлива на температуру и дымность отработавших газов?

5. Какие могут быть причины уменьшения мощности и увеличения удельного эффективного расхода топлива при увеличении угла опережения начала подачи топлива по отношению к оптимальному значению?

6. Какие могут быть причины уменьшения мощности и увеличения удельного эффективного расхода топлива при уменьшении угла опережения начала подачи топлива по отношению к оптимальному значению?

7. Чему равны значения установочного угла опережения начала подачи топлива у современных отечественных и зарубежных тракторных дизелей?

## Практическая работа № 16

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ДВС

*Цель работы:* изучить методику измерения основных показателей двигателя при определении составляющих теплового баланса двигателя.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд для моторных испытаний тракторных и автомобильных двигателей, расходомер охлаждающей жидкости, дистанционные термометры.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол расчетных показателей ДВС по форме, приведенной в методических указаниях.

2. Перед началом работы в протоколе расчетных показателей ДВС записать барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха. В протокол расчетных характеристик ДВС заносится плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики, иллюстрирующие тепловой баланс двигателя.

4. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

5. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Тепловым балансом двигателя называется распределение теплоты, выделяющейся при сгорании топлива в цилиндрах, на полезную работу и по видам тепловых потерь. Обычно тепловой баланс определяется экспериментальным путем на различных режимах работы двигателя.

Тепловой баланс и его составляющие позволяют косвенно судить о теплонапряженности деталей двигателя, рассчитывать систему охлаждения двигателя, оценивать возможности использования

теплоты отработавших газов, а также разрабатывать технические мероприятия, повышающие топливную экономичность двигателя и установки в целом.

Уравнение теплового баланса в абсолютных величинах количества теплоты в единицу времени (абсолютный тепловой баланс) имеет вид:

$$Q = Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{ог}} + Q_{\text{нс}} + Q_{\text{ост}};$$

где  $Q$  – теплота, выделяющаяся при полном сгорании топлива, кДж/ч;

$Q_e$  – теплота, превращенная в полезную работу, кДж/ч;

$Q_{\text{охл}}$  – теплота, отведенная в систему охлаждения, кДж/ч;

$Q_{\text{ог}}$  – теплота, унесенная с отработавшими газами, кДж/ч;

$Q_{\text{нс}}$  – неиспользованная часть теплоты топлива из-за неполного сгорания, кДж/ч;

$Q_{\text{ост}}$  – неучтенные потери (остаточный член теплового баланса), кДж/ч.

Остаточный член теплового баланса учитывает теплоту, рассеиваемую в окружающую среду внешними поверхностями двигателя и его агрегатов, и теплоту, соответствующую кинетической энергии отработавших газов.

Тепловой баланс может быть представлен в относительных единицах, в процентах (относительный тепловой баланс), который более удобен для анализа работы двигателя:

$$q_e + q_{\text{охл}} + q_{\text{ог}} + q_{\text{нс}} + q_{\text{ост}} = 100 \%,$$

где  $q_e = Q_e / Q \cdot 100 \%$ ;

$q_{\text{охл}} = Q_{\text{охл}} / Q \cdot 100 \%$ ; и т. д.

### Методика испытаний

Дополнительным оборудованием испытательного стенда для определения теплового баланса является: расходомер охлаждающей жидкости для определения производительности водяного насоса и дистанционные термометры для определения перепада температур охлаждающей жидкости и температуры отработавших газов.

По указанию преподавателя студенты занимают рабочие места и производят соответствующие измерения на номинальном и промежуточном (по указанию преподавателя) режимах работы двигателя.

Порядок проведения измерений:

1. Запустить двигатель и прогреть до рабочих температур.
2. Установить рычаг регулятора ТНВД в положение максимальной подачи топлива.
3. Устройством регулирования тормозного момента с пульта управления испытательного стенда установить режим номинальной мощности.

4. По звуковому сигналу измерить и зафиксировать в протоколе испытаний значения:

$$n, M_k, \Delta G, \tau_t, \Delta V_B, \tau_B;$$

$t_{вх}$  и  $t_{вых}$  – температуры воды на входе и выходе в системе охлаждения;

$t_{ог}$  – температуру отработавших газов;

$\tau_{охл}$  – время расхода контрольного объема охлаждающей жидкости (воды),  $\Delta G_{охл} = 10$  л.

5. Устройством регулирования тормозного момента с пульта управления испытательного стенда установить промежуточный режим нагрузки.

6. По сигналу произвести измерения по п. 4.

После завершения испытаний двигатель переводится на режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

### Обработка результатов

1. Эффективная мощность  $N_e$ , часовой расход топлива  $G_T$  и расход воздуха  $G_B$  рассчитываются по следующим формулам:

– эффективная мощность, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550;$$

– расход воздуха, кг/ч:

$$G_B = \rho_{окр} V_B;$$

где  $\rho_{\text{окр}}$  – плотность окружающего воздуха в условиях опыта, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{окр}} = 3,48 B_{\text{окр}} / t_{\text{окр}} + 273,$$

где  $B_{\text{окр}}$  – барометрическое давление, кПа;

$t_{\text{окр}}$  – температура окружающего воздуха, °С;

$V_{\text{в}}$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_{\text{в}} = 3600 \Delta V / \tau_{\text{в}},$$

где  $\Delta V$  – контрольный объем воздуха при измерении, м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{в}}$  – время расходования дизелем контрольного объема воздуха, с.

2. Расход охлаждающей жидкости рассчитывается по формуле, кг/ч:

$$G_{\text{охл}} = 3,6 \Delta G_{\text{охл}} / \tau_{\text{охл}}:$$

где  $\Delta G_{\text{охл}}$  – контрольный объем охлаждающей жидкости за опыт, л.

3. Далее определяются составляющие теплового баланса двигателя.

Теплота, выделяющаяся при полном сгорании топлива, кДж/ч:

$$Q = H_u G_{\text{т}},$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания 1 кг топлива (для дизельного топлива  $H_u = 42\,500$  кДж/ч).

Количество теплоты, превращенной в эффективную работу, кДж/ч:

$$Q_e = 3600 N_e.$$

Количество теплоты, отведенной в систему охлаждения, кДж/ч:

$$Q_{\text{охл}} = G_{\text{охл}} c (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}),$$

где  $c$  – теплоемкость охладителя (для воды  $c = 4,18$  кДж/(кг·град)).

Количество теплоты, унесенной с отработавшими газами (упрощенная зависимость):

$$Q_{ог} = (G_T + G_B) c_p (t_{ог} - t_B),$$

где  $c_p$  – изобарная теплоемкость отработавших газов (для дизелей  $c_p = 1,09$  кДж/(кг·град));

$t_{ог}$  и  $t_B$  – температура отработавших газов и окружающего воздуха соответственно, °С.

Потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива  $Q_{нс}$  определяются только для двигателей с зажиганием от искры при значении  $\alpha < 1$ . У дизелей  $Q_{нс}$  включается в остаточный член баланса  $Q_{ост}$ .

Остаточный член теплового баланса для дизеля подсчитывается как разность по формулам, кДж/ч или %:

$$Q_{ост} = Q - (Q_e + Q_{охл} + Q_{ог});$$

$$q_{ост} = 100 - (q_e + q_{охл} + q_{ог}).$$

Исходные данные и расчетные показатели для определения относительного теплового баланса двигателя на номинальном и промежуточном режимах заносятся в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Протокол испытаний по расчету теплового баланса двигателя

Режим работы ДВС	$n, \text{ мин}^{-1}$	$M_b, \text{ Н·м}$	$\Delta G, \text{ г}$	$T_B, \text{ }^\circ\text{С}$	$\Delta V, \text{ м}^3$	$T_B, \text{ }^\circ\text{С}$	$\Delta G_{охл}, \text{ л}$	$T_{охл}, \text{ }^\circ\text{С}$	Температура, °С			$N_e, \text{ кВт}$	$G_T, \text{ кг/ч}$	$G_B, \text{ кг/ч}$	$G_{охл}, \text{ кг/ч}$	
									$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{ог}$					
Полная мощность																
Частичная мощность																



Значения составляющих относительного теплового баланса двигателя заносятся в табл. 16.2.

Таблица 16.2

Относительный тепловой баланс двигателя

Режим работы двигателя	Составляющие теплового баланса, %				
	$q_e$	$q_{охл}$	$q_{ог}$	$q_{нс}$	$q_{ост}$
Полная мощность					
Частичная мощность					

Составляющие относительного теплового баланса двигателя представить графически в виде секторных диаграмм (рис. 16.1).

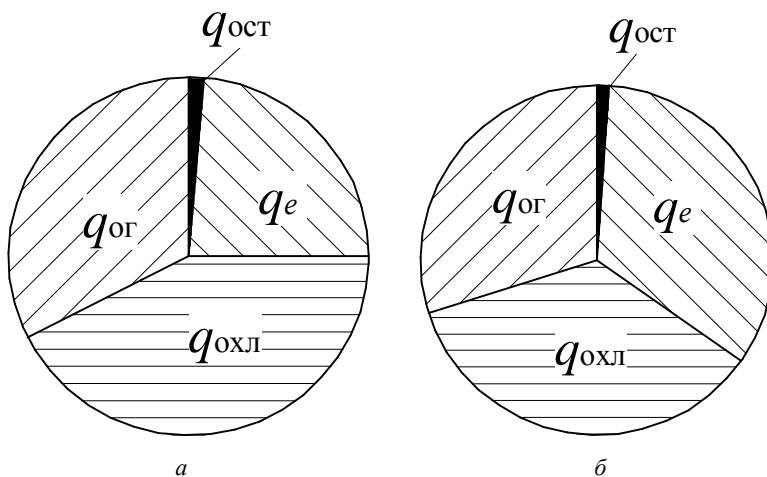


Рис. 16.1. Примеры секторных диаграмм относительного теплового баланса двигателя:

*а* – частичный режим; *б* – номинальный режим

Рекомендуется сопоставить полученные составляющие относительного теплового баланса на номинальном режиме с их значениями у современных отечественных и зарубежных тракторных двигателей.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Методика измерения основных показателей двигателя при определении составляющих теплового баланса двигателя.
3. Методика обработки полученных данных и построения графических материалов, иллюстрирующих тепловой баланс двигателя.
4. Заполненная таблица протокола расчетных показателей ДВС (табл. 16.1).
5. График, иллюстрирующий тепловой баланс двигателя, построенный по результатам протокола испытаний (табл. 16.1).

## Контрольные вопросы

1. Какие основные виды тепловых потерь учтены в тепловом балансе?
2. Как учтены механические потери двигателя в тепловом балансе?
3. С какой целью поддерживается постоянная температура охлаждающей жидкости на рабочих режимах двигателя?
4. Что ограничивает уменьшение отвода тепла в систему охлаждения?
5. Назовите примерные значения составляющих относительного теплового баланса современных автотракторных двигателей.
6. Как изменяется тепловой баланс в случае эксплуатации двигателя с температурой охлаждающей жидкости  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Как это влияет на экономичность и долговечность двигателя?

## Практическая работа № 17

### ИНДИЦИРОВАНИЕ ДВС

*Цель работы:* изучить методику выполнения индицирования тракторного дизеля при его нагружении тормозным устройством испытательного стенда.

*Материальное обеспечение:* методические указания, испытательный тормозной стенд для моторных испытаний тракторных и автомобильных двигателей, индикатор, датчики и приспособления для создания оригинальной измерительной цепи, датчик углового перемещения коленчатого вала двигателя, датчик отметок НМТ (нижней мертвой точки) и ВМТ (верхней мертвой точки), датчик давления внутрицилиндровых газов.

#### Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.
2. Перед началом работы в протоколе расчетных показателей ДВС записать барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха. В протокол расчетных характеристик ДВС заносится плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.
3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.
4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных.
5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.
6. Оформить отчет.

#### Общие сведения

Параметры действительного цикла дизеля ( $p_z$  – давление в конце сгорания,  $d_p/d_\phi$  – жесткость сгорания,  $T_z$  – температура в конце сгорания, продолжительность сгорания) оказывают значительное влияние на основные параметры рабочего цикла двигателя, надежность и долговечность работы поршневой группы, коленчатого

вала и его подшипников, шатуна, уплотнения головки цилиндров, то есть двигателя в целом.

Для оценки основных показателей рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания выполняется индицирование – экспериментальное исследование рабочего процесса двигателя на эксплуатационных режимах.

По результатам индицирования наиболее достоверно определяются индикаторные, эффективные и экономические показатели работы двигателя.

Индицирование является распространенным способом исследования рабочего процесса из-за его относительной простоты и универсальности. Но сложность и быстротечность протекания отдельных этапов рабочего процесса предъявляют высокие требования к измерительному оборудованию и методам обработки полученных экспериментальных данных.

Основные требования к методике индицирования тракторных и комбайновых дизелей приведены в ГОСТ 18509–88.

В настоящее время при индицировании тракторных дизелей используют малогабаритные датчики давления, устанавливаемые или вместо пусковой штифтовой свечи накаливания дизеля, или в специальном канале, выполняемом на стадии производства опытной головки блока цилиндров.

Чаще всего в качестве датчиков давления применяются пьезокварцевые датчики из-за высокой собственной частоты чувствительного элемента и высокого уровня выходного сигнала.

Обычно измерительно-регистрирующая цепь при выполнении индицирования имеет составляющие звенья: датчик давления – усилитель (если необходим) – аналогово-цифровой преобразователь – персональный компьютер. Все оборудование вместе называется индикатором.

### **Методика испытаний**

Для индицирования тракторного дизеля может применяться специализированное измерительно-регистрирующее оборудование – индикатор. Но могут быть подобраны и согласованы по пропускаемой частоте датчики и приспособления для создания оригинальной измерительной цепи.

Количество используемых датчиков может быть значительным для получения обширной технической информации. Но минимальное количество датчиков следующее: датчик углового перемещения коленчатого вала двигателя, датчик отметок НМТ и ВМТ, датчик давления внутрицилиндровых газов.

В любом случае, для определения основных показателей рабочего процесса получают свернутые, в координатах  $P-V$ , и развернутые, в координатах  $P-\phi$ , индикаторные диаграммы. На рис. 17.1 приведен пример свернутой индикаторной диаграммы.

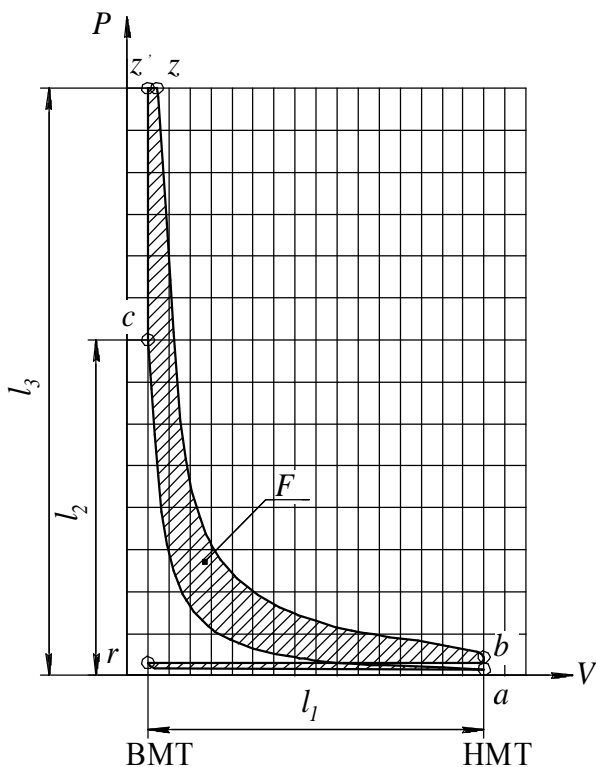


Рис. 17.1. Пример свернутой индикаторной диаграммы в координатах  $P-V$

Порядок проведения испытания и измерений.

1. Включить и прогреть индикатор.
2. Включить систему охлаждения датчика давления индикатора.

3. Запустить двигатель и установить рычаг управления подачей в положение максимальной подачи топлива.

4. Последовательно увеличивая нагрузку с помощью пульта управления испытательного стенда (выполняется лаборантом), наблюдать за изменениями индикаторной диаграммы (если имеется специальное приспособление и возможность наблюдения на экране индикатора). Обратить особое внимание на увеличение максимального давления цикла и площади диаграммы (работа цикла) с возрастанием нагрузки.

5. Вывести двигатель на номинальный режим работы и по указанию преподавателя занять рабочие места для измерений: частоты вращения, нагрузки и расхода топлива. По сигналу произвести соответствующие измерения, зафиксировать изображение индикаторной диаграммы.

6. Результаты измерений занести в протокол испытаний.

После завершения испытаний индикатор выключается, двигатель переводится на режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

### Обработка результатов

Для целей данной лабораторной работы более удобно обрабатывать свернутую индикаторную диаграмму двигателя (см. рис. 17.1).

1. По результатам испытаний и зафиксированному изображению индикаторной диаграммы рассчитываются показатели работы дизеля (значения  $p_e$ ,  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$ ).

Эффективная мощность двигателя, кВт:

$$N_e = M_k n / 9550;$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 3,6 \Delta G / \tau_T;$$

где  $\Delta G$  – контрольная доза топлива, г;

$\tau_r$  – время расходования дизелем контрольной дозы топлива за опыт, с.

Удельный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = 10^3 G_T / N_e.$$

Среднее эффективное давление, МПа:

$$p_e = 30 \tau_d N_e / (i V_h n),$$

где  $\tau_d$  – тактность двигателя (количество ходов поршня за рабочий цикл двигателя);

$i$  – число цилиндров;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра, л.

2. С помощью планиметра (или миллиметровой бумаги) определяется площадь индикаторной диаграммы  $F$ , мм<sup>2</sup>, и линейкой измеряются: длина диаграммы  $l_1$ , мм, и ординаты точек  $c$  ( $l_2$ ) и  $z$  ( $l_3$ ) (см. рис. 17.1).

Записывается масштаб давлений  $\mu = p / h$ , МПа/мм (задается преподавателем по результатам тарировки индикатора с помощью специального тарировочного масляного пресса), где  $p$  – образцовое максимальное ожидаемое давление, подаваемое на датчик давления при тарировке, МПа;  $h$  – расстояние по ординате, соответствующее образцовому давлению  $p$ , мм.

3. Рассчитываются следующие параметры:

– давление в конце сжатия, МПа:

$$p_c = l_2 \mu;$$

– давление в конце сгорания, МПа:

$$p_z = l_3 \mu;$$

– степень повышения давления:

$$\lambda = p_z / p_c.$$

Площадь свернутой индикаторной диаграммы изображает в определенном масштабе удельную работу газов при сгорании (отнесенную к единице поверхности поршня). Отсюда находятся:

– среднее индикаторное давление, МПа:

$$p_i = F / (l_1 \mu);$$

– индикаторная мощность двигателя, кВт:

$$N_i = p_i i V_h n / (30 \tau_d);$$

– мощность механических потерь, кВт:

$$N_{мп} = N_i - N_e;$$

– индикаторный удельный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_i = G_T 10^3 / N_i;$$

– механический КПД:

$$\eta_m = N_e / N_i = p_e / p_i;$$

– индикаторный КПД:

$$\eta_i = 3600 N_i / (H_u G_T);$$

– эффективный КПД:

$$\eta_e = 3600 N_e / (H_u G_T).$$

Полученные результаты заносятся в табл. 17.1, 17.2.

Таблица 17.1

Результаты испытаний

№ опыта	$n, \text{мин}^{-1}$	$M_k, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\Delta G, \text{г}$	$\tau_i, \text{с}$	Параметры индикаторной диаграммы				
					$F, \text{мм}^2$	$l_1, \text{мм}$	$l_2, \text{мм}$	$l_3, \text{мм}$	$\mu, \text{МПа/мм}$
1									
2									
3									



Расчетные показатели

№ опыта	$N_e$ , кВт	$G_T$ , кг/ч	$P_e$ , МПа	$g_e$ , г/(кВт·ч)	$p_c$ , МПа	$p_z$ , МПа	$\lambda$	$p_b$ , МПа	$N_i$ , кВт	$g_i$ , г/(кВт·ч)	$N_{\text{мп}}$ , кВт	$\eta_{\text{м}}$	$\eta_i$	$\eta_e$
1														
2														
3														

Рекомендуется сравнить полученные значения основных показателей рабочего процесса исследованного двигателя с аналогичными показателями лучших образцов современных отечественных и зарубежных автотракторных двигателей.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Методика измерения основных показателей рабочего процесса двигателя при выполнении индицирования тракторного дизеля.
3. Методика обработки полученных экспериментальных данных по результатам индицирования тракторного дизеля.
4. Заполненная таблица результатов испытаний (табл. 17.1) и таблица расчетных показателей (табл. 17.2).
5. График индикаторной диаграммы в координатах  $P-V$ , построенный по результатам расчетных показателей (табл. 17.2).

### Контрольные вопросы

1. Что такое индицирование двигателя?
2. Из чего состоит измерительно-регистрающая цепь индикатора? Как работает индикатор?
3. С какой целью проводится индицирование двигателя?
4. Как по свернутой индикаторной диаграмме двигателя определяются значения основных показателей рабочего процесса двигателя: давление в характерных точках цикла, среднее индикаторное давление и индикаторная мощность цикла?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тракторы и автомобили. Практикум : учебно-методическое пособие : в 4 ч. Г. И. Гедроить [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. – ч. 1. – 196 с.
2. Тракторы и автомобили. Практикум : учебно-методическое пособие : в 4 ч. Г. И. Гедроить [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. – ч. 2. – 236 с.
3. Шабуня, Н. Г. Основы теории и расчета тракторных и автомобильных двигателей : пособие / сост.: Н. Г. Шабуня, В. Е. Тарасенко, Т. А. Варфоломеева. – Минск : БГАТУ, 2013. – 192 с.
4. Карташевич, А. Н. Теория автомобилей и двигателей : учебное пособие / А. Н. Карташевич, Г. М. Кухаренок, А. А. Рудашко. – Минск : РИПО, 2018. – 307 с.
5. Конструкция тракторов и автомобилей : пособие / сост.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 816 с.
6. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учебное пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2014. – 421 с. : ил.
7. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава : ГОСТ 2177–99. – Введ. 01.01.2001. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2021. – 89 с.
8. Масла моторные. Классификация и обозначение : ГОСТ 17479.1–2015. – Введ. 01.01.2017. – М. : Стандартиформ, 2016. – 9 с.
9. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле : ГОСТ 4333–2021. – Введ. 01.07.2022. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2021. – 19 с.
10. Смазки пластичные. Определение пенетрации с использованием пенетromетра с конусом на одну четверть и половину шкалы : ГОСТ 32331–2013. – Введ. 01.01.2015. – М. : Стандартиформ, 2019. – 11 с.
11. Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия : ГОСТ 28084–89. – Введ. 01.07.1990. – М. : Стандартиформ, 2007. – 15 с.
12. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний : ГОСТ 18509–88. – Взамен ГОСТ 18508–80, ГОСТ 18509–80,

ГОСТ 25033–81 ; введ. 01.01.1990. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 70 с.

13. Устройство тракторов : учебник / А. Н. Карташевич [и др.]. – Минск : РИПО, 2020. – 463 с.

14. Тракторы и автомобили [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / сост.: Ю. Д. Карпиевич, Г. И. Гедроить, Ю. М. Жуковский. – Минск : БГАТУ, 2014. – Электронные данные (241 697 451 байт).

15. БЕЛАРУС 3522 с двигателями Caterpillar C9.3B, Cummins QSL8.9-C360-III, Deutz TCD2013L064V: 3522-0000020PЭ : руководство по эксплуатации. – Минск, 2022. – 445 с.

16. БЕЛАРУС 1221Г.2/1221.2/122113.2/1221.3/1221.4 : 1221-0000010БРЭ : руководство по эксплуатации. – Минск, 2019. – 388 с.

17. Дизель Д-243 и его модификации : 243-0000100PЭ : руководство по эксплуатации. – Минск, 2022. – 89 с.

Учебное издание

**Гедроить** Геннадий Иванович,  
**Безручко** Александр Фомич,  
**Захаров** Александр Викторович и др.

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ. ПРАКТИКУМ

В четырех частях

Часть 3

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *Г. И. Гедроить*  
Редактор *Д. О. Михеева*  
Корректор *Д. О. Михеева*  
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*  
Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 17.09.2024. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 8,60. Уч.-изд. л. 6,73. Тираж 99 экз. Заказ 302.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.