

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Тракторы и автомобили»

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ТРАКТОРНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Лабораторный практикум
для студентов очной и заочной форм обучения специальностей:*

*1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства,*

1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве,

*1-74 06 06 Материально-техническое обеспечение агропромышленного
комплекса,*

1-74 06 07 Управление охраной труда в сельском хозяйстве,

1-36 12 01 Проектирование и производство сельскохозяйственной техники

4-е издание, переработанное и дополненное

Минск
БГАТУ
2010

УДК 631.3(07)
ББК 40.72я7
Т 65

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
агромеханического факультета.
Протокол № 12 от 10 февраля 2009 г.*

Авторы:
доцент *В. Ф. Боровиков*,
доцент *Н. Г. Шабуня*,
старший преподаватель *Н. А. Поздняков*,
ассистент *Д. Г. Лопух*,
профессор БНТУ *Г. М. Кухаренок*

*Авторы выражают благодарность предшественникам,
ветеранам кафедры «Тракторы и автомобили» И. В. Новицкому,
М. А. Разумовскому, Ч. Б. Дробышевскому и П. К. Кроту,
разработки которых использованы в настоящем практикуме.*

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели
внутреннего сгорания» БНТУ *Г. А. Вершина*;
кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации
машинно-тракторного парка БГАТУ *В. Я. Тимошенко*

Т 65 **Тракторы и автомобили. Основы теории и расчета
тракторных и автомобильных двигателей** : лабораторный
практикум / В. Ф. Боровиков [и др.]. – 4-е изд., перераб. и доп.
– Минск : БГАТУ, 2009. – 92 с.
ISBN 978-985-519-187-3.

Переработанное и дополненное издание (четвертый выпуск)
предназначено для студентов агроинженерных специальностей ву-
зов и учащихся аграрно-технических колледжей.

УДК 631.3(07)
ББК 40.72я7

ISBN 978-985-519-187-3

© БГАТУ, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Скоростная и регуляторная характеристики топливного насоса высокого давления тракторного дизеля.	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Испытательные стенды и контрольно-измерительная аппаратура для определения основных показателей ДВС.	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Определение условных механических потерь ДВС.	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Нагрузочная характеристика тракторного дизеля.	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Регуляторная характеристика тракторного дизеля.	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Скоростная характеристика тракторного и автомобильного дизеля.	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Скоростная характеристика бензинового двигателя.	47
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Регулировочная характеристика тракторного дизеля по углу опережения начала подачи топлива.	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 Регулировочная характеристика бензинового ДВС по углу опережения зажигания.	58
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. Регулировочные характеристики тракторного дизеля по давлению на впуске и выпуске.	63
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. Тепловой баланс ДВС.	69
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. Индицирование ДВС.	75
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13. Определение момента инерции маховика и движущихся деталей двигателя.	81
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14. Измерения и спектральный анализ вибраций двигателя.	85
ЛИТЕРАТУРА.	90
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.	91

ВВЕДЕНИЕ

Оснащение современного сельскохозяйственного производства высокоэффективной и дорогостоящей техникой требует ее квалифицированного использования. Эффективность, экономичность и надежность работы тракторов, автомобилей и других мобильных средств зависит, в значительной степени, от технического состояния их энергетических установок – поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

По своим техническим возможностям современные поршневые ДВС могут работать длительное время без существенных изменений гарантированной мощности, топливной экономичности и экологической безопасности.

Однако, в случае некачественного проведения технического обслуживания и несвоевременного и некачественного ремонта, тракторные и автомобильные ДВС будут работать с ухудшенными энергетическими, экономическими и экологическими показателями и значительным снижением межремонтных сроков.

Настоящий лабораторный практикум разработан для обучения студентов практическим навыкам лабораторных испытаний поршневых тракторных и автомобильных ДВС, ознакомления их с организацией испытаний, приобретения опыта обработки и анализа результатов эксперимента, оформления технических отчетов о проведении испытаний двигателей. Знание методик испытаний тракторных и автомобильных ДВС необходимо для подготовки высококвалифицированных инженеров-механиков сельскохозяйственного производства. Кроме того, наличие методических указаний обеспечит более качественную подготовку к занятиям молодых преподавателей.

Знание основ теории и расчетов тракторных и автомобильных ДВС и полученные практические навыки в процессе выполнения лабораторных работ в дальнейшем позволят инженерам-механикам обеспечить необходимый уровень эксплуатационных показателей двигателей, эффективно использовать тракторную и автомобильную технику, разрабатывать и реализовывать эффективные инновационные мероприятия, применять современные энерго- и ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Основные правила техники безопасности

Тракторные и автомобильные двигатели - сложные технические объекты, что вызывает определенные трудности при проведении их испытаний. Многообразие явлений, связанных с механическими и теплотехническими процессами, изменяющимися в широких пределах, а также необходимость применения различных экспериментальных установок и контрольно-измерительной аппаратуры, создает повышенную опасность для студентов, принимающих непосредственное участие в испытаниях двигателей, что требует строгого выполнения правил по технике безопасности.

Основные правила состоят из следующих разделов.

1. Каждый студент должен пройти инструктаж по технике безопасности и ознакомиться с настоящими правилами.

2. Перед началом испытаний двигателя необходимо:

- привести в порядок одежду и волосы. Концы одежды, не застегнутые рукава, свисающие волосы должны быть тщательно заправлены;

- произвести наружный осмотр двигателя и проверить крепления его агрегатов и соединительного карданного вала;

- включить приточно-вытяжную вентиляцию.

3. В процессе испытаний двигателя студенты, участвующие в выполнении лабораторных работ, должны:

- находиться только в аппаратном отсеке испытательного бокса;

- включать испытательный стенд и запускать двигатель только с разрешения преподавателя или лаборанта;

- строго соблюдать все указания преподавателя и лаборанта по изменению режимов работы испытуемого двигателя. Запрещается принимать какие-либо самостоятельные действия по регулировке двигателя, испытательного стенда и приборов без разрешения и контроля указанных лиц;

- не покидать рабочее место до окончания испытаний двигателя.

4. При обнаружении отклонений от нормальной работы двигателя и испытательного стенда необходимо немедленно проинформировать преподавателя или лаборанта для принятия мер. Основные нарушения такого рода в двигателе – возникновение ненормальных стуков, резкое отклонение от нормы давления и температуры в

масляной магистрали и системе охлаждения, резкий рост частоты вращения коленчатого вала, появление течи в трубопроводах системы подачи топлива, смазки, охлаждения, а также прорыв газов в системе выпуска и перегрев двигателя.

В электрической части испытательного стенда – перегрев нагрузочного агрегата, появление искр, дыма и повышенного шума работы генератора.

5. При возникновении аварийной ситуации или опасности пожара, а также при получении травмы кем-либо из участников испытаний студенты обязаны сохранять выдержку и организованность, четко и быстро выполнять все указания преподавателя или лаборанта.

Общие правила выполнения лабораторных работ

Перед началом лабораторного курса студенты проходят обязательный инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводится преподавателем на первом занятии и регистрируется в специальном журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к лабораторным работам не допускаются.

Каждая лабораторная работа включает:

а) проверку самостоятельной подготовки студентов к работе;

б) изложение преподавателем целей и содержания работы;

в) выполнение работы;

г) обработку и анализ полученных результатов (см. таблицу 1);

д) сдачу (защиту) оформленной работы.

До начала очередной лабораторной работы преподаватель проводит индивидуальный опрос студентов по знанию материалов, изложенных в методических указаниях и на лекциях. Студенты, не прошедшие проверку, могут быть не допущены к выполнению лабораторной работы и обязаны пройти отработку занятий.

Каждый студент оформляет отчет о выполненной лабораторной работе и ее защищает. Защищенная работа должна иметь подпись преподавателя на отчете. Студент, не защитивший все выполненные лабораторные работы, не допускается к зачету или экзамену.

ГОСТ 18509–88 рекомендует определенные масштабы графиков, построенных по результатам измерений и расчетов (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендуемые масштабы графиков

Обозначение параметра, изображенного на графике	Число единиц параметра, содержащихся в 1 см изображения на графике, для диапазонов номинальных мощностей, кВт		
	От 20	От 20 до 50	От 50 до 100
N_e, N_i , кВт	1,0	2,0	5,0
M_k , Н·м	10	30	50
G_T, G_B , кг/ч	0,5	1,0	2,0
$G_{ж}, G_{вент}$, кг/с	0,05	0,1	0,2
g_e , г/(кВт·ч)		10	
n , мин ⁻¹		100	
P_e, P_i , МПа		0,05	
η_v, η_i, η_e		0,05	
η_m		0,02	
t_r , °C		100	
$t_m, t_{ж}, t_o$, °C		10	
Θ , град.п.к.в.		1	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Скоростная и регуляторная характеристики топливного насоса высокого давления тракторного дизеля

1. 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 в условиях эксплуатации ТА могла обеспечить подачу дозированных с установленной точностью порций топлива под высоким давлением по определенному закону в установленный период рабочего цикла и согласно порядку работы цилиндров.

В настоящее время тракторные дизели производства УП «Минский моторный завод» (ММЗ) для применения в республиках СНГ комплектуются топливными насосами высокого давления (ТНВД) с все-режимными механическими регуляторами. Дизели, предназначенные для экспорта в страны Евросоюза, США и Канады, с 2008 года начали комплектоваться аккумуляторными системами топливоподачи типа «Common Rail» производства компании «Robert Bosch».

В данной лабораторной работе рассмотрено экспериментальное определение основных показателей ТНВД модели УТН-5, который широко используется на тракторах, находящихся в эксплуатации в отечественном сельскохозяйственном производстве. В настоящее время тракторные дизели производства ММЗ начали комплектоваться модернизированными ТНВД того же завода-изготовителя (НЗТА, Россия) 4УТНИ, которые принципиально не отличаются от УТН-5.

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 (при ее снятии работают все механизмы автоматического регулирования, входящие в состав всережимного регулятора ТНВД).

Для учебных целей в лабораторном 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 (рисунок 1.1).

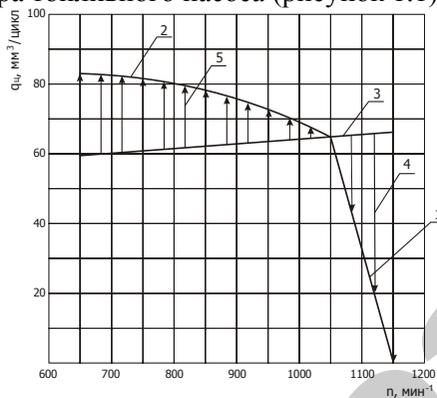


Рисунок 1.1. Пример скоростной характеристики плунжерной пары и регуляторной характеристики насосной секции ТНВД при всережимном регулировании подачи топлива: 1 – регуляторная ветвь регуляторной характеристики; 2 – корректорная ветвь регуляторной характеристики; 3 – скоростная характеристика; 4 – уменьшение цикловой подачи под действием регулятора; 5 – увеличение цикловой подачи под действием корректора

Из рисунка 1.1 видно, что скоростная характеристика только плунжерной пары не обеспечивает необходимого закона изменения цикловой подачи топлива в скоростном диапазоне дизеля, поскольку для устойчивого движения трактора необходимо (при замедлении вращения коленчатого вала дизеля и кулачкового вала ТНВД) увеличивать цикловую подачу топлива для увеличения крутящего момента двигателя. Поэтому ТНВД оборудуется всережимным регулятором цикловой подачи топлива.

Испытания ТНВД на безмоторном стенде 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.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику испытаний ТНВД тракторного дизеля на безмоторном стенде.

2.2. Освоить методики: измерения основных показателей ТНВД в соответствии с требованиями ТУ, обработки экспериментальных данных, построения графиков характеристик ТНВД.

2.1. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

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.

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.

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями данного лабораторного практикума, принципиальными схемами испытуемого

ТНВД и испытательного безмоторного стенда, подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в лабораторном практикуме.

3.2. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места в лаборатории испытаний.

3.3. На безмоторном стенде определить основные показатели работы ТНВД тракторного дизеля.

3.4. Произвести необходимые расчеты по соответствующим расчетным формулам, построить график регуляторной характеристики насосной секции ТНВД по форме, приведенной в лабораторном практикуме.

3.5. Выполнить анализ полученных результатов.

3.6. Ответить на контрольные вопросы в конце работы.

4. Методические указания по выполнению работы

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 (рисунок 1.2).

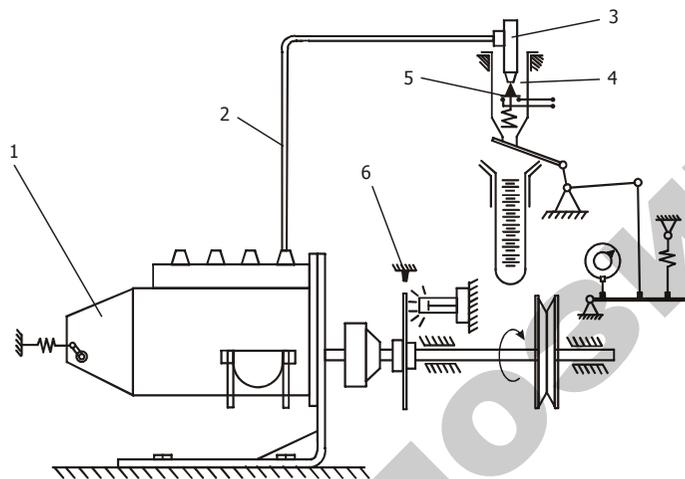


Рисунок 1.2. Принципиальная схема испытательного безмоторного стенда для испытаний ТНВД: 1 – испытуемый ТНВД; 2 – топливопровод высокого давления; 3 – эталонная форсунка; 4 – пеногаситель; 5 – датчик начала подачи топлива; 6 – датчик частоты вращения кулачкового вала

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, т.е. до $n_{xx \max}$.

Последующие опыты производят при постепенном снижении частоты вращения кулачкового вала. На регуляторной ветви, как минимум, производится один опыт при частоте вращения на 50 мин^{-1} меньше $n_{xx \max}$. Частота вращения, соответствующая началу работы регулятора, у насоса 4УТНИ (УТН-5) 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.

5. Обработка результатов испытаний

В соответствии с ТУ основными показателями работы ТНВД модели 4УТНИ (УТН-5) являются:

- средняя цикловая подача топлива при номинальной частоте вращения ТНВД 1100 мин^{-1} : $77 \pm 2,0 \text{ мм}^3/\text{цикл}$;
- цикловая подача топлива при частоте вращения ТНВД:
 800 мин^{-1} $88 \pm 3,0 \text{ мм}^3/\text{цикл}$;
- 500 мин^{-1} $74 \pm 3,5 \text{ мм}^3/\text{цикл}$;
- частота вращения ТНВД при начале действия регулятора, мин^{-1} : 1115...1135;
- полное автоматическое отключение подачи топлива через форсунки при частоте вращения ТНВД, мин^{-1} : 1250, не более;
- неравномерность подачи топлива по секциям при номинальной частоте вращения ТНВД 1100 мин^{-1} , %: 6, не более.

Контрольные вопросы

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

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

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

где v – объем топлива, поданный за опыт элементом (насосной секцией) ТНВД в мерное устройство, см^3 ; 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).

5.2. 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 цикловые подачи насосных секций ТНВД.

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.

6. Анализ полученных результатов

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

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

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 ТНВД.
4. Объясните назначение корректора подачи топлива ТНВД.
5. Объясните назначение регулятора ТНВД.
6. Дайте определения скоростной и регуляторной характеристик ТНВД тракторного дизеля.
7. Какая допускается неравномерность подачи топлива отдельными секциями ТНВД УТН-5 на номинальном режиме?

Рекомендуемый протокол испытаний

Номер опыта		n, мин ⁻¹	Число циклов	Подача топлива секциями								Средняя цикловая подача, мм ³ /цикл	Неравномерность цикл. подачи, %
				Первая		Вторая		Третья		Четвертая			
				Опыт, см ³	Цикл, мм ³	Опыт, см ³	Цикл, мм ³	Опыт, см ³	Цикл, мм ³	Опыт, см ³	Цикл, мм ³		
1													
2													

Регуляторная характеристика ТНВД

Дата _____

ТНВД № _____ Модель _____

Параметры окружающей среды:

$t_{\text{окр}} =$ _____, °C

$B_{\text{окр}} =$ _____, КПа

Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м³.

Б Г А Т У
Кафедра
«Тракторы
и автомобили»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Испытательные стенды и контрольно-измерительная аппаратура для определения основных показателей работы ДВС

1. Общие сведения

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

Если существует необходимость оценки показателей двигателя, установленного в полной комплектации непосредственно на тракторе, испытания проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 30747–2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение показателей при испытаниях через вал отбора мощности».

Испытания автомобильных двигателей проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 14846–81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Оценка экологических показателей двигателей сельскохозяйственных тракторов при их применении в республиках СНГ производится по требованиям: ГОСТ 17.2.2.05–97 «Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин» и ГОСТ 17.2.2.02–98 «Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин».

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

При этом основными показателями работы двигателя являются: эффективная мощность N_e ; частота вращения коленчатого вала (к.в.) 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 пуска двигателя 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, уравнивающимся эффективный крутящий момент на валу испытываемого двигателя.

Принципиальная схема испытательного тормозного стенда для моторных испытаний ДВС в боксе кафедры «Тракторы и автомобили» (ауд. 129–131) приведена на рисунке 2.1.

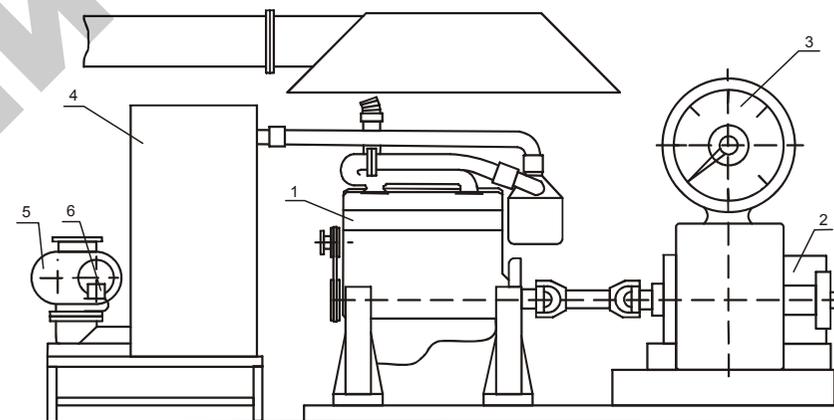


Рисунок 2.1. Испытательный тормозной стенд для моторных испытаний тракторных и автомобильных двигателей: 1 – двигатель; 2 – балансирная машина; 3 – весовое устройство; 4 – ресивер впускного воздуха; 5 – ротационный газовый счетчик; 6 – фотодатчик электронно-цифрового тахометра

Схемы устройств измерения расхода топлива и измерения расхода впускного воздуха двигателем (в нашем случае, схема счетчика газа ротационного) представлены на рисунках 2.2 и 2.3.

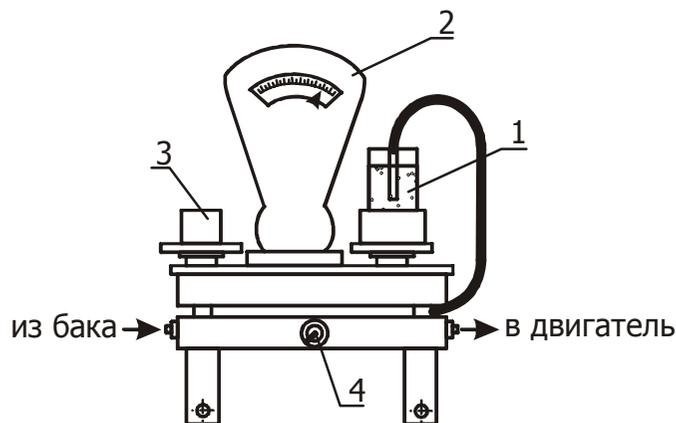


Рисунок 2.2. Схема установки для измерения расхода топлива:
 1 – топливный измерительный резервуар; 2 – весовое устройство;
 3 – балластный груз; 4 – трехходовой кран-переключатель

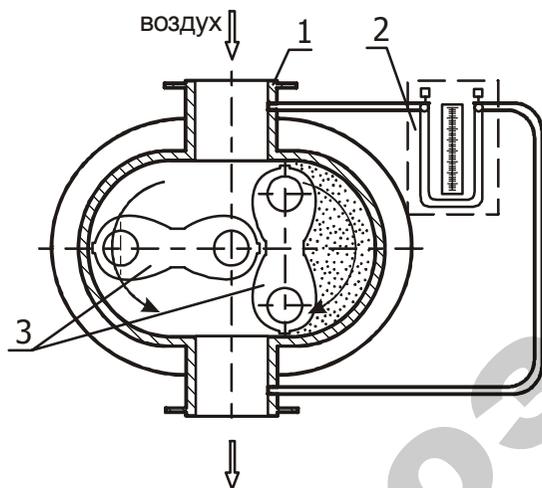


Рисунок 2.3. Схема ротационного газового счетчика типа РГ:
 1 – корпус; 2 – дифференциальный манометр; 3 – роторы

2. Цель работы

2.1. Изучить конструкцию и принцип работы испытательного электрического тормозного стенда, контрольно-измерительного оборудования для испытаний поршневых двигателей внутреннего сгорания.

2.2. Научиться работать с испытательным тормозным стендом и производить его тарировки.

2.3. Освоить методики: измерения основных показателей работы двигателя и обработки полученных экспериментальных данных.

3. Методические указания и порядок выполнения работы

3.1. Изучение конструкции испытательного стенда и вспомогательного оборудования, принципа их работы.

Основные агрегаты испытательного стенда: балансирная машина, весовой механизм, пульт управления, устройства для монтажа двигателя.

Балансирная машина представляет собой электромашину с фазным ротором, создает реактивный момент для поворота корпуса электромашины, соединенного с весовым устройством.

Электромашина, в зависимости от частоты вращения, работает в двух режимах: двигательном – при запуске и прокручивании испытуемого двигателя; генераторном – при моторных испытаниях двигателя.

Весовой механизм предназначен для измерения эффективного крутящего момента при испытаниях двигателя.

Пульт управления позволяет изменять нагрузочный и скоростной режимы работы двигателя внутреннего сгорания при работе электромашины стенда в генераторном режиме; обеспечивает прокручивание двигателя внутреннего сгорания электромашинной с нужной частотой вращения при работе электромашин в режиме электродвигателя.

К вспомогательному оборудованию относятся устройства для измерения расхода топлива и расхода впускного воздуха, приборы контроля за состоянием двигателя.

3.2. 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 двухплечего 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 двухплечего 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 величина 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 необходимо установить соответствующую образцовую гирю. При исправном стенде стрелка на весовом устройстве должна установиться на 0 (ноль).

3.3. Пробные испытания. Измерение основных показателей двигателя. Обработка экспериментальных данных

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 ± 5 °С.

Измерения показателей работы ДВС производятся при фиксированном положении рычага управления подачей топлива. Заданная нагрузка (момент сопротивления, равный эффективному крутящему моменту), контролируемая по шкале весового устройства, устанавливается управляющим устройством с пульта управления стендом.

После установления необходимого режима испытаний, по звуковому сигналу, поданному лаборантом, одновременно произвести измерения и внести в протокол испытаний полученные значения:

- эффективного крутящего момента M_k , Н·м;
- частоты вращения к.в. двигателя n , мин⁻¹;
- времени расхода контрольной дозы топлива (обычно, контрольная доза топлива $\Delta G_T = 100$ г) τ_r , с;
- времени расхода контрольного объема воздуха (обычно, контрольный объем впускного воздуха $\Delta V_B = 1$ м³) τ_b , с.

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

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

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.

Все измерения заносятся в протокол испытаний, рекомендуемая форма протокола испытаний приводится.

4. Порядок оформления отчета

- 4.1. Вычертить схему испытательного тормозного стенда и схемы вспомогательного оборудования.
- 4.2. Произвести оценку тарировки стенда.
- 4.3. Обработать полученные экспериментальные данные.

По результатам испытаний занести в протокол испытаний следующие экспериментальные данные: M_k , n , τ_t , τ_b каждого режима работы двигателя.

Рассчитываются следующие показатели работы двигателя:

- эффективная мощность

$$N_e = M_k \cdot n / 9550, \text{ кВт};$$

- часовой расход топлива

$$G_T = 3,6 \cdot \Delta G / \tau_t, \text{ кг/ч};$$

- удельный эффективный расход топлива

$$g_e = 10^3 G_T / N_e, \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Все расчеты при обработке результатов испытаний должны проводиться с точностью до трех-четырех значащих цифр по правилам приближенных инженерных вычислений.

5. 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 специальному документу – техническим условиям (ТУ), заявленным заводом-изготовителем.

Контрольные вопросы

1. Назвать состав испытательного стенда для моторных испытаний двигателя и объяснить работу испытательного стенда.
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 ДВС 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?

Рекомендуемый протокол испытаний

Б Г А Т У Кафедра «Тракторы и автомобили»		Испытательные стенды и контрольно-измерительная аппаратура для определения основных показателей работы ДВС								
		Дата _____ Двигатель № _____ ТНВД № _____								
		Параметры окружающей среды: $t_{\text{окр}} =$ _____, °C $P_{\text{окр}} =$ _____, кПа $\phi_{\text{окр}} =$ _____, %								
		Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³ .								
Номер опыта	M_k , Н*м	n , мин ⁻¹	ΔG , г	τ_t , с	ΔV_B , м ³	τ_b , с	N_e , кВт	G_T , кг/ч	g_e , г/(кВт ч)	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Определение условных механических потерь ДВС

1. Общие сведения

При работе поршневого ДВС часть индикаторной мощности (развиваемой в цилиндрах) затрачивается на внутреннее трение, газообмен, привод различных вспомогательных агрегатов двигателя. Эта теряемая двигателем мощность называется мощностью механических потерь: $N_{мп}$, кВт.

Мощность механических потерь двигателя определяется одним из следующих способов:

- методом поочередного отключения цилиндров при работе двигателя с подачей топлива;
- методом прокручивания к.в. прогретого двигателя с помощью балансирной электромашинки постоянного тока;
- методом индицирования всех цилиндров двигателя с последующим определением индикаторной мощности.

Очевидно, что в первых двух случаях (при полном или частичном отсутствии рабочего процесса в цилиндрах) определяемые механические потери можно назвать лишь условными, поскольку они соответствуют реальным механическим потерям двигателя лишь с некоторым приближением.

Определение механических потерь производится в соответствии с требованиями ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику проведения испытаний по определению условных механических потерь тракторного дизеля методом поочередного отключения цилиндров.

2.2. Освоить методики: измерения основных показателей двигателя при определении условных механических потерь методом поочередного отключения цилиндров, обработки полученных экспериментальных данных.

2.3. Освоить основы анализа проведенных испытаний.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания) и обработку полученных экспериментальных данных.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Для определения условных механических потерь методом поочередного 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. Очевидно, что отключенный цилиндр не производит соответствующую индикаторную мощность. Таким образом, появляется возможность последовательно определить индикаторные мощности отдельных цилиндров двигателя.

Испытания проводятся в следующей последовательности.

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

4.2. Ручкой управления на пульте управления стендом установить режим максимальной мощности. По сигналу измерить и зафиксировать в протоколе испытаний значения M_k и n .

4.3. Отключить подачу топлива 1-го цилиндра (выполняется учебным мастером). Уменьшая нагрузку с помощью пульта управления стендом, вывести двигатель опять на режим прежней n . По сигналу измерить те же параметры (см. п. 4.2) и зафиксировать в протоколе испытаний.

4.4. Повторить действия (п. 4.3) при последовательном отключении (по одному) остальных цилиндров.

5. Обработка полученных экспериментальных данных

По результатам испытаний рассчитать и занести в протокол испытаний следующие параметры.

5.1. Максимальную эффективную мощность двигателя $N_{e \max}$ при работе всех цилиндров и эффективные мощности при отключении каждого m -го цилиндра N_{em} (см. формулы в работе № 2).

5.2. Условную индикаторную мощности m -го цилиндра

$$N_{i \text{ ум}} = N_{e \max} - N_{em}, \text{ кВт.}$$

5.3. Мощность условных механических потерь

$$N_{\text{мп}} = N_i - N_{e \max} = \sum_{1}^m N_{i \text{ ум}} - N_{e \max}, \text{ кВт,}$$

где N_i – условная индикаторная мощность двигателя.

5.4. Условный механический КПД двигателя

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

5.5. Коэффициент равномерности работы цилиндров

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

Полученные результаты заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Показатели условных механических потерь двигателя

$N_{e \max}$, кВт	$N_{\text{мп}}$, кВт	N_i , кВт	η_m	Δ

6. 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.

Контрольные вопросы

1. Почему механические потери и индикаторные мощности цилиндров и дизеля в целом, определенные методом отключения цилиндров (или прокручиванием коленчатого вала двигателя) называются условными?
2. Как будут изменяться условные механические потери с изменением частоты вращения вала двигателя и нагрузки?
3. Почему определение условных механических потерь двигателя методом прокручивания можно выполнять только на испытательных стендах постоянного тока?
4. Какие системы двигателя в наибольшей степени влияют на величину механических потерь?
5. Укажите значения η_m современных автотракторных дизельных и карбюраторных двигателей.

Рекомендуемый протокол испытаний

БГАТУ Кафедра «Тракторы и автомобили»					Определение условных механических потерь двигателя Дата _____ Двигатель № _____ Параметры окружающей среды: $t_{\text{окр}} =$ _____, °C $B_{\text{окр}} =$ _____, КПа $\phi_{\text{окр}} =$ _____, % Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³				
Опыты	$M_{\text{к}}$, Н м	n , мин ⁻¹	Эффективная мощность двигателя N_{em} , кВт	Условная индикаторная мощность отключенного цилиндра $N_{i \text{ ум}}$, кВт					
На всех цилиндрах									
Без первого									
Без второго									
Без третьего									
Без четвертого									
На всех цилиндрах									

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Нагрузочная характеристика тракторного дизеля

1. Общие сведения

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

Нагрузочная характеристика называется зависимость основных показателей двигателя от нагрузки (среднего эффективного давления или эффективной мощности) при постоянной частоте вращения к.в. двигателя.

Пример нагрузочной характеристики приведен на рисунке 4.1.

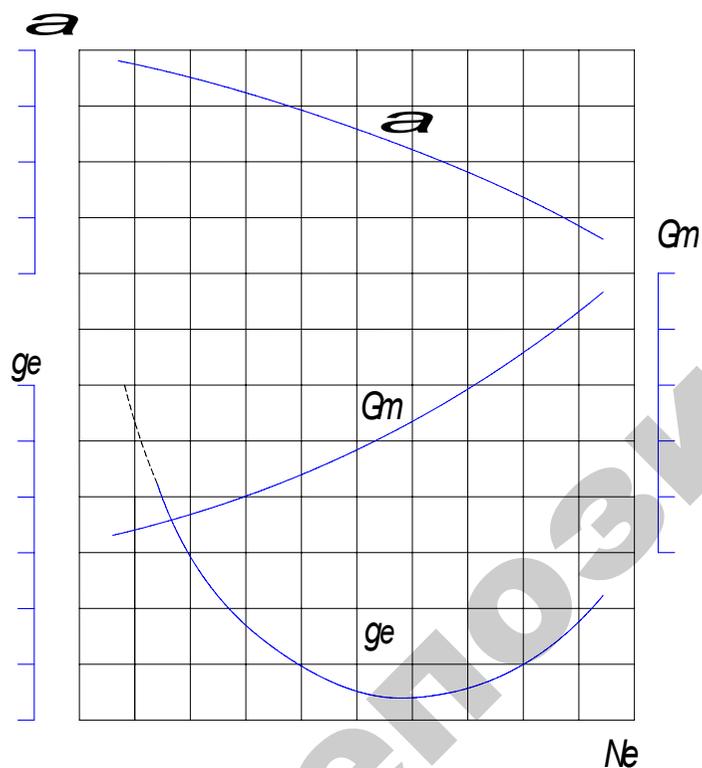


Рисунок 4.1. Пример нагрузочной характеристики тракторного дизеля

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, т.е. нагрузочные характеристики при различных постоянных скоростных режимах во всем скоростном диапазоне двигателя.

ГОСТ 18509–88 требует снимать нагрузочную характеристику при постоянной частоте вращения к.в. путем последовательного увеличения подачи топлива в пределах изменения нагрузки от нуля до нагрузки, соответствующей полной подаче топлива.

Таким образом, технически постоянство скоростного режима тракторного дизеля при снятии нагрузочной характеристики обеспечивается перемещением рычага управления подачей топлива и параллельным изменением момента сопротивления вращению к.в. двигателя с помощью пульта управления стендом.

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

С увеличением нагрузки часовой расход топлива также увеличивается, поскольку увеличение нагрузки при постоянной частоте вращения к.в. связано с увеличением момента сопротивления дизелю и соответствующим увеличением цикловой подачи топлива.

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.

Так как сопротивление на впуске у четырехтактных дизелей при работе по нагрузочной характеристике остается неизменным, то коэффициент наполнения 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. При превышении номиналь-

ной мощности коэффициент наполнения 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 уменьшается с 6 единиц на режимах, близких к холостому ходу, до 1,4...1,8 на полной нагрузке (для безнаддувного дизеля). С уменьшением α снижается индикаторный КПД вследствие химической неполноты сгорания.

Очевидно, что при нагрузке, соответствующей максимальному значению произведения $\eta_i \cdot \eta_m$, 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.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику снятия нагрузочной характеристики тракторного дизеля на испытательном стенде.

2.2. Освоить методику измерения основных показателей двигателя при снятии нагрузочной характеристики тракторного дизеля.

2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графиков нагрузочной характеристики дизеля.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики нагрузочной характеристики.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Перед испытаниями преподавателем назначается скоростной режим двигателя, а затем каждому студенту дается конкретное задание:

- изменять нагрузку при сохранении постоянного скоростного режима двигателя путем регулирования подачи топлива и момента сопротивления;

- измерять расходы топлива и впускного воздуха;

- поддерживать необходимые температурные режимы охлаждающей жидкости и моторного масла;

- регистрировать показания весового устройства стенда, скоростной режим двигателя, температуры 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.

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

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 положению 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.

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы тракторного дизеля по нагрузочной характеристике.

5.1. Эффективная мощность двигателя

$$N_e = M_k \cdot n / 9550, \text{ кВт},$$

где n – частота вращения к.в., мин^{-1} .

5.2. Часовой расход топлива

$$G_T = 3,6 \cdot \Delta G / \tau_T, \text{ кг/ч},$$

где ΔG – контрольная доза топлива, г; τ_T – время расходования дизелем контрольной дозы топлива за опыт, с.

5.3. Удельный расход топлива

$$g_e = 10^3 G_T / N_e, \text{ г/(кВт ч)}.$$

5.4. Среднее эффективное давление

$$p_e = 30 \tau_d N_e / (i \cdot V_h \cdot n), \text{ МПа},$$

где τ_d – тактность двигателя (количество ходов поршня за рабочий цикл двигателя); i – число цилиндров; V_h – рабочий объем цилиндра, л.

5.5. Часовой расход впускного воздуха

$$G_B = \rho_{\text{окр}} V_B, \text{ кг/ч},$$

где $\rho_{\text{окр}}$ – плотность окружающего воздуха в условиях опыта:

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

$B_{\text{окр}}$ – барометрическое давление, КПа; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, °С;

V_B – объемный расход воздуха:

$$V_B = 3600 \Delta V / \tau_B, \text{ м}^3/\text{ч},$$

ΔV – контрольный объем воздуха при измерении, м^3 ; τ_B – время расходования дизелем контрольного объема воздуха, с.

5.6. Коэффициент наполнения

$$\eta_V = G_B / G_{\text{теор}},$$

где $G_{\text{теор}}$ – теоретический расход воздуха:

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

5.7. 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: $C = 0,873$, $H = 0,127$.

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

6. 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.

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. Изложите основы методики снятия нагрузочной характеристики тракторного дизеля.
5. Чем объясняется изменение коэффициента наполнения двигателя при изменении нагрузки?
6. В каких пределах находится коэффициент избытка воздуха для дизелей автотракторного типа на номинальном режиме работы?
7. При каком условии отмечается минимальный удельный эффективный расход топлива?

Рекомендуемый протокол испытаний

БГАТУ Кафедра «Тракторы и автомобили»														Нагрузочная характеристика тракторного дизеля Дата _____ Двигатель № _____ ТНВД № _____													
														Параметры окружающей среды: $t_{окр} =$ _____, °C $B_{окр} =$ _____, КПа $\varphi_{окр} =$ _____, % Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³													
Номер опыта	n , мин ⁻¹	$M_{кр}$, Н·м	$N_{ес}$, кВт	$p_{ес}$, МПа	ΔG , г	$\tau_{тв}$, с	$G_{тв}$, кг/ч	$g_{ес}$, г/кВт·ч	ΔV , м ³	$\tau_{вв}$, с	$V_{вв}$, м ³ /ч	$\rho_{окр}$, кг/м ³	$G_{вв}$, кг/ч	η_v	α												
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Регуляторная характеристика тракторного дизеля

1. Общие сведения

Определение и методика снятия регуляторной характеристики тракторного дизеля приведены в ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». ГОСТ 18509–88 требует снятия регуляторной характеристики при проведении периодических (кратковременных и длительных) и типовых испытаний. Таким образом, регуляторная характеристика считается основной моторной характеристикой тракторных и комбайновых 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.

Пример внешней регуляторной характеристики дан на рисунке 5.1.

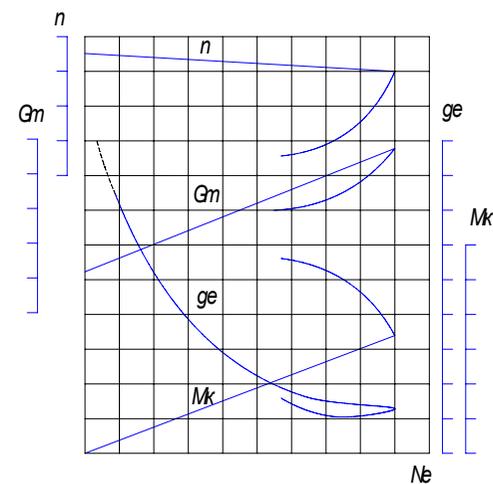


Рисунок 5.1. Пример внешней регуляторной характеристики тракторного дизеля

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

Регуляторные характеристики снимаются путем последовательного увеличения нагрузки от нулевой до полной при частоте вращения к.в. при максимальном крутящем моменте.

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

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику снятия регуляторной характеристики тракторного дизеля на испытательном стенде.

2.2. Освоить методику измерения основных показателей двигателя при снятии регуляторной характеристики тракторного дизеля.

2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графиков регуляторной характеристики дизеля.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики регуляторной характеристики.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Перед испытаниями преподавателем назначается количество опытов и примерная разбивка ожидаемого изменения крутящего момента двигателя на количество точек характеристики. Затем каждому студенту дается конкретное задание:

- изменять нагрузку (момент сопротивления двигателю) при сохранении постоянного положения рычага управления подачей топлива путем воздействия на электромашину стенда через управляющее устройство – пульт управления;

- измерять расходы топлива и впускного воздуха;

- поддерживать необходимые температурные режимы охлаждающей жидкости и моторного масла;

- регистрировать: показания весового устройства стенда, скоростной режим двигателя, температуры 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.

После запуска и прогрева двигателя рычаг управления регулятором устанавливается в положение максимальной подачи топлива и фиксируется. По согласованию с преподавателем допускается снятие частичных регуляторных характеристик. Тогда рычаг управления регулятором устанавливается на частичную подачу топлива.

Первый опыт проводится при минимально возможной нагрузке на тормозе и частоте вращения к.в., близкой к максимальной на холостом ходу. После стабилизации установленного режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения необходимых измерений. Одновременно замеряются и вносятся в протокол испытаний: крутящий момент, частота вращения к.в. и время расхода контрольной дозы топлива.

Второй, третий 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 корректорной ветви характеристики) должно быть дос-

таточным для того, чтобы выявить перегиб графика крутящего момента. Таким образом, для построения регуляторной характеристики рекомендуется провести по 3...4 опытов как на регуляторной, так и на корректорной ветвях 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.

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы тракторного дизеля по регуляторной характеристике.

5.1. Эффективная мощность двигателя

$$N_e = M_k \cdot n / 9550, \text{ кВт},$$

где n – частота вращения к.в., мин^{-1} .

5.2. Часовой расход топлива

$$G_T = 3,6 \cdot \Delta G / \tau_T, \text{ кг/ч},$$

где ΔG – доза топлива, г; τ_T – время расхода дозы топлива за опыт, с.

5.3. Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = 10^3 G_T / N_e, \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}.$$

5.4. Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = G_B / (l_0 \cdot G_T),$$

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 элементного состава: $C = 0,873$, $H = 0,127$.

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

6. Анализ полученных результатов

Анализ построенной регуляторной характеристики дизеля позволяет определить характерные режимы работы: холостого хода, максимальной мощности, наибольшей экономичности, максимального крутящего момента и минимально устойчивого скоростного режима.

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 к.в. 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 к.в.:

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

где $n_{xx \max}$ – максимальная частота вращения к.в. на холостом ходу двигателя, мин^{-1} ; n_n – номинальная частота вращения к.в. при максимальной мощности двигателя, мин^{-1} .

На корректорной ветви двигатель работает в перегрузочном режиме. 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, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

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

Из-за усложнения вида корректорной ветви регуляторной характеристики современных тракторных дизелей для оценки работы

корректора ТНВД применяется еще один показатель - номинальный коэффициент запаса крутящего момента:

$$\mu = 100 \% (M_{к\max о} - M_{к\ном}) / M_{к\ном}, \%$$

где $M_{к\max о}$ – приведенный максимальный крутящий момент, Н м;

$M_{к\ном}$ – приведенный крутящий момент на режиме номинальной мощности, Н м.

Рекомендуется сравнить полученные значения указанных показателей работы дизеля с аналогичными показателями лучших образцов отечественной и зарубежной техники.

Контрольные вопросы

1. Что называется регуляторной характеристикой тракторного дизеля?
2. В чем различие между внешней и частичными регуляторными характеристиками тракторного дизеля?
3. Изложите основы методики снятия 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. Какое влияние оказывает корректор на протекание регуляторной характеристики тракторного дизеля?
8. Как определяется степень неравномерности регулятора?

Рекомендуемый протокол испытаний

БГАТУ Кафедра «Тракторы и автомобили»										Регуляторная характеристика тракторного дизеля Дата _____ Двигатель № _____ ТНВД № _____					
										Параметры окружающей среды: $t_{окр} =$ _____, °C $P_{окр} =$ _____, КПа $\phi_{окр} =$ _____, % Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³					
Номер опыта	n , мин ⁻¹	$M_{кв}$, Н·м	ΔG , г	$\tau_{г}$, с	ΔV , м ³	$\tau_{в}$, с	$t_{г}$, °C	N_e , кВт	$G_{гв}$, кг/ч	$g_{ев}$, г/кВт·ч	$V_{вв}$, м ³ /ч	$\rho_{окр}$, кг/м ³	$G_{вв}$, кг/ч	α	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Скоростная характеристика тракторного и автомобильного дизелей

1. Общие сведения

Определение и методика снятия скоростной характеристики тракторного дизеля приведены в ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». Методика снятия скоростной характеристик та же, что и для снятия регуляторной характеристики. Скоростная характеристика отличается представлением экспериментальных данных. Иногда в технической литературе ее называют регуляторной характеристикой в функции от частоты вращения к.в. двигателя.

В соответствии с ГОСТ 18509–88 *скоростной характеристикой* называется зависимость основных показателей тракторного дизеля от частоты вращения к.в. дизеля при постоянном положении рычага управления подачей топлива ТНВД.

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

Пример внешней скоростной характеристики дан на рисунке 6.1.

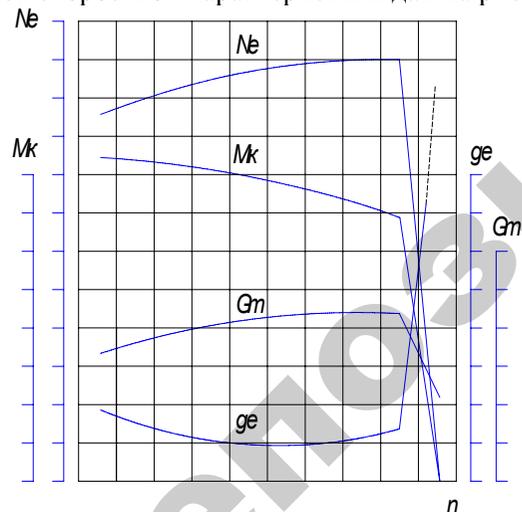


Рисунок 6.1. Пример внешней скоростной характеристики тракторного дизеля

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

Скоростные характеристики снимаются путем последовательно увеличения минимальной нагрузки от нулевой до полной – при частоте вращения, соответствующей режиму максимального крутящего момента.

Снятие скоростных характеристик на моторном испытательном стенде назначается для оценки основных показателей работы дизеля, которые зависят как от технического состояния, так и от основных регулировок дизеля.

Скоростные характеристики в качестве основной моторной характеристики применяются всеми тракторостроительными компаниями дальнего зарубежья. В соответствии с ГОСТ 14846–81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» скоростная характеристика считается основной моторной характеристикой автомобильных двигателей.

Скоростная характеристика имеет легко представимый аргумент – частоту вращения к.в., и поэтому она является удобной для общего анализа работы тракторных и автомобильных двигателей. Она назначается для оценки показателей двигателей при их диагностике, при применении инновационных технических мероприятий, после ремонта двигателя.

2. Цель проведения работы

- 2.1. Изучить методику снятия скоростной характеристики тракторного дизеля на испытательном стенде.
- 2.2. Освоить методику измерения основных показателей двигателя при снятии скоростной характеристики тракторного дизеля.
- 2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графиков скоростной характеристики дизеля.
- 2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

- 3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.
- 3.2. Перед началом испытаний в протокол испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление,

ние, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики скоростной характеристики.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Перед испытаниями преподавателем назначается количество опытов и примерная разбивка ожидаемого изменения крутящего момента двигателя на количество точек характеристики. Затем каждому студенту дается конкретное задание:

- изменять нагрузку (момент сопротивления двигателю) при сохранении постоянного положения рычага управления подачей топлива путем воздействия на электромашину 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, температуры 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.

После запуска и прогрева двигателя рычаг управления регулятором ТНВД устанавливается в положение максимальной подачи топлива и фиксируется. По согласованию с преподавателем допускается снятие частичных скоростных характеристик. Тогда рычаг управления регулятором устанавливается на частичную подачу топлива.

Первый опыт проводится при минимально возможной нагрузке двигателя (и малого момента сопротивления тормозного устройст-

ва) и частоте вращения к.в., близкой к максимальной на холостом ходу. После стабилизации установленного режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения необходимых измерений. Одновременно измеряются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели: крутящий момент, частота вращения к.в. и время расходования дизелем контрольной дозы топлива.

Второй, третий 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 корректорной ветви характеристики должно быть достаточным для того, чтобы выявить перегиб графика крутящего момента. Таким образом, для построения скоростной характеристики рекомендуется провести по 3...4 опыта как на регуляторной, так и на корректорной ветвях 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.

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы тракторного дизеля по скоростной характеристике.

5.1. Эффективная мощность двигателя

$$N_e = M_k \cdot n / 9550, \text{ кВт},$$

где n – частота вращения к.в., мин⁻¹.

5.2. Часовой расход топлива

$$G_T = 3,6 \cdot \Delta G / \tau_T, \text{ кг/ч},$$

где ΔG – доза топлива, г; τ_T – время расхода дозы топлива за опыт, с.

5.3. Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = 10^3 G_T / N_e, \text{ г/(кВт ч)}.$$

5.4. Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = G_B / (l_0 \cdot G_T),$$

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: $C = 0,873$, $H = 0,127$.

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

6. Анализ полученных результатов

Анализ построенной скоростной характеристики позволяет определить и оценить характерные режимы работы: холостого хода, максимальной мощности, наибольшей экономичности, максимального крутящего момента и минимально устойчивого скоростного режима.

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

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.

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

Контрольные вопросы

1. Что называется скоростной характеристикой тракторного дизеля?
2. В чем различие между внешней и частичными скоростными характеристиками тракторного дизеля?
3. Изложите основы методики снятия скоростной характеристики тракторного дизеля.
4. С какой целью снимается скоростная характеристика дизеля?
5. Какие ветви различают в скоростной характеристике?
6. Какие оценочные параметры тракторного дизеля определяются по скоростной характеристике?
7. Какое влияние оказывает корректор на протекание скоростной характеристики тракторного дизеля?
8. Какие преимущества имеет скоростная характеристика тракторного дизеля по сравнению с регуляторной характеристикой?

Рекомендуемый протокол испытаний

БГАТУ Кафедра «Тракторы и автомобили»													Скоростная характеристика тракторного дизеля Дата _____ Двигатель № _____ ТНВД № _____			
													Параметры окружающей среды: $t_{\text{окр}} =$ _____, °C $B_{\text{окр}} =$ _____, КПа $\phi_{\text{окр}} =$ _____, %			
													Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³			
Номер опыта	n , мин ⁻¹	$M_{\text{кр}}$, Н·м	ΔG , г	$\tau_{\text{кр}}$, с	ΔV , м ³	$\tau_{\text{в}}$, с	$t_{\text{с}}$, °C	$N_{\text{кр}}$, кВт	$G_{\text{кр}}$, кг/ч	$g_{\text{кр}}$, г/кВт·ч	$V_{\text{кр}}$, м ³ /ч	$\rho_{\text{кр}}$, кг/м ³	$G_{\text{пр}}$, кг/ч	α		
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Скоростная характеристика бензинового ДВС

1. Общие сведения

Определение и методика снятия скоростной характеристики бензинового двигателя приведены в ГОСТ 14846–81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Скоростной характеристикой бензинового двигателя называется зависимость основных показателей двигателя от частоты вращения к.в. при постоянном положении рычага управления подачей топлива (аналогично положению дроссельной заслонки в случае карбюраторного двигателя).

Если рычаг управления подачей топлива находится в положении, соответствующем полной подаче топлива (при полностью открытой дроссельной заслонке в случае карбюраторного двигателя), то снятая скоростная характеристика называется внешней. Скоростные характеристики, снятые при промежуточных положениях рычага управления подачей топлива, называются частичными скоростными характеристиками.

Пример внешней скоростной характеристики дан на рисунке 7.1.

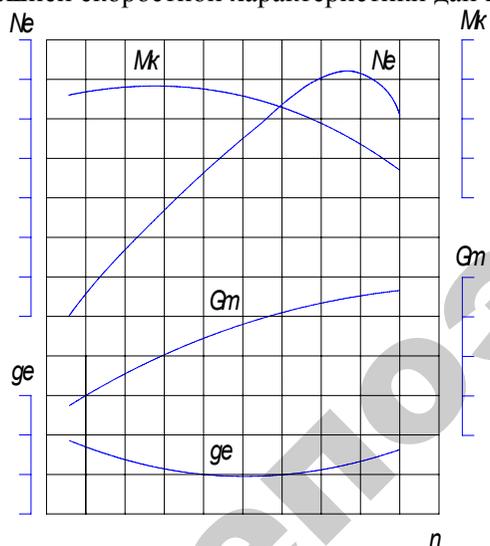


Рисунок 7.1. Пример внешней скоростной характеристики бензинового двигателя

Снятие скоростной характеристики назначается для оценки показателей работы двигателя при его диагностике, при применении новых технических мероприятий, после ремонта двигателя. Также скоростная характеристика приводится в рекламных материалах по двигателю и автомобилю.

2. Цель проведения работы

- 2.1. Изучить методику снятия скоростной характеристики бензинового двигателя на испытательном стенде.
- 2.2. Освоить методику измерения основных показателей двигателя при снятии скоростной характеристики бензинового двигателя.
- 2.3. Освоить методики обработки полученных в результате испытаний экспериментальных данных и построения графиков скоростной характеристики бензинового двигателя.
- 2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

- 3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.
- 3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха. В протокол испытаний заносится плотность применяемого бензина при температуре 20 °С.
- 3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.
- 3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики скоростной характеристики.
- 3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.
- 3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Перед испытаниями преподавателем назначается количество опытов и примерная разбивка ожидаемого изменения крутящего момента двигателя на количество точек характеристики. Затем каждому студенту дается конкретное задание:

- изменять нагрузку (момент сопротивления двигателю) при сохранении постоянного положения рычага управления подачей топлива путем воздействия на электромашину 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, температуры охлаждающей жидкости, моторного масла, отработавших газов и окружающей среды, давление в смазочной системе и барометрическое давление окружающей среды.

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

Современная редакция ГОСТ 14846–81 не устанавливает методику нагружения бензинового двигателя при снятии скоростной характеристики. Поэтому рекомендуется применять методику, установленную ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

После запуска и прогрева двигателя рычаг управления подачей топлива (например, рычаг управления дроссельной заслонкой) устанавливается в положение полной подачи топлива и фиксируется.

По согласованию с преподавателем допускается снятие частичных скоростных характеристик. Тогда рычаг управления подачей топлива устанавливается на частичную подачу топлива.

Первый опыт проводится при минимально возможной нагрузке на тормозе и частоте вращения к.в., близкой к максимальной на холостом ходу. После стабилизации установленного режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения необходимых измерений. Одновременно измеряются и вносятся в протокол испытаний: крутящий момент, частота вращения к.в. и время расхода установленной дозы топлива и контрольного объема впускного воздуха.

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

ГОСТ 14846–81 указывает, что число точек измерений должно быть достаточным для того, чтобы при построении характеристик

выявить форму и характер протекания кривых во всем диапазоне исследуемых режимов.

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

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы бензинового автомобильного двигателя.

5.1. Эффективная мощность двигателя

$$N_e = M_k \cdot n / 9550, \text{ кВт},$$

где n – частота вращения к.в., мин⁻¹.

5.2. Часовой расход топлива

$$G_T = 3,6 \cdot \Delta G / \tau_T, \text{ кг/ч},$$

где ΔG – доза топлива, г; τ_T – время расхода дозы топлива за опыт, с.

5.3. Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = 10^3 G_T / N_e, \text{ г/(кВт·ч)}.$$

5.4. Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = G_B / (l_0 \cdot G_T),$$

где l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, $l_0 = 14,6 \text{ кг}_{\text{воздуха}}/\text{кг}_{\text{топлива}}$ – для бензина среднего элементного состава: C = 0,865, H = 0,135.

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

6. Анализ полученных результатов

Анализ построенной скоростной характеристики позволяет определить и оценить характерные режимы работы двигателя: мини-

мальную и максимальную рабочие частоты вращения к.в., частоты вращения к.в. при: максимальном крутящем моменте, минимальном расходе топлива и начале срабатывания ограничителя частоты вращения к.в.

Необходимо сравнить полученные значения указанных показателей с показателями, регламентированными ТУ для данной модели двигателя и сделать выводы о состоянии двигателя. Рекомендуется сравнить показатели работы двигателя с аналогичными показателями лучших образцов отечественной и зарубежной автотракторной техники.

Контрольные вопросы

1. Что называется скоростной характеристикой бензинового двигателя внутреннего сгорания?
2. В чем различие между внешней и частичными скоростными характеристиками бензинового двигателя?
3. Изложите основы методики снятия скоростной характеристики бензинового двигателя.
4. В каких случаях назначается снятие скоростной характеристики бензинового двигателя?
5. Какие оценочные параметры бензинового двигателя определяются по скоростной характеристике?
6. Объясните характер изменения по скоростной характеристике основных показателей бензинового двигателя.

Рекомендуемый протокол испытаний

Номер опыта	n , мин ⁻¹	$M_{кв}$, Н·м	ΔG , г	$\tau_{тв}$, с	ΔV , м ³	$\tau_{вв}$, с	t_c , °C	$N_{эв}$, кВт	$G_{тв}$, кг/ч	$g_{эв}$, г/кВт·ч	$V_{вв}$, м ³ /ч	$\rho_{окр}$, кг/м ³	$G_{вв}$, кг/ч	α
Дата _____ Двигатель № _____ Параметры окружающей среды: $t_{окр}$ = _____, °C $P_{окр}$ = _____, кПа $\phi_{окр}$ = _____, % Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³														
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Регулировочная характеристика тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива

1. Общие сведения

Регулировочной характеристикой по установочному углу опережения начала подачи топлива называется зависимость основных показателей работы дизеля от угла опережения подачи топлива при постоянной частоте вращения к.в. и неизменном положении рычага управления подачей топлива.

Угол опережения начала подачи топлива, иногда называемый углом опережения впрыска топлива, измеряется в градусах поворота коленчатого вала (град. п. к. в.) относительно ВМТ.

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 рисунке 8.1.

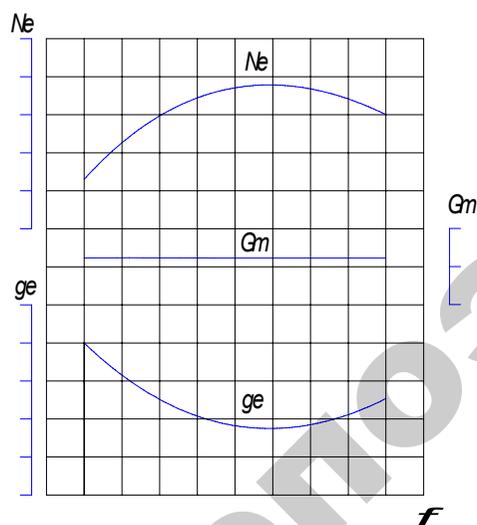


Рисунок 8.1. Пример регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива

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 установочного угла опережения начала подачи топлива. Критериями оптимальности могут служить экономичность, эффективная мощность, жесткость работы, экологическая безопасность или компромисс между этими показателями двигателя.

Оптимальный установочный 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 к.в. и нагрузки двигателя.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику снятия регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива на испытательном стенде.

2.2. Освоить методику измерений основных показателей тракторного дизеля при снятии регулировочной характеристики по установочному углу опережения начала подачи топлива.

2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графиков регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики регулировочной характеристики тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

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

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

Например, в процессе эксплуатации ТНВД модели УТН-5 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.

Перед испытаниями 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.

4.1. Устанавливается угол опережения начала подачи топлива, величина которого на 6...10 град. п. к. в. меньше рекомендованного заводом-изготовителем.

4.2. Дизель запускается и прогревается.

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

4.4. Устанавливается заданная постоянная частота вращения к.в. дизеля с помощью тормозного устройства испытательного стенда.

4.5. После стабилизации режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения измерений. Измеряются следующие

показатели: крутящий момент, частота вращения к.в., время расходования контрольной дозы топлива, температура отработавших газов. При наличии в лаборатории газоанализаторов отработавших газов производится определение экологических показателей работы дизеля.

4.6. Для всех последующих опытов установочный угол опережения начала подачи топлива увеличивают не более чем на 4 град. п. к. в.

4.7. Последний опыт проводят при установочном угле опережения подачи топлива, величина которого на 6...10 град. п. к. в. больше рекомендованного заводом-изготовителем.

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

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие показатели работы тракторного дизеля по регулировочной характеристике по установочному углу опережения начала подачи топлива.

5.1. Значения N_e , G_T , g_e (см. предыдущие работы).

5.2. Значения экологических показателей работы дизеля по инструкциям газоанализаторов.

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

6. Анализ полученных результатов

6.1. Объяснить характер изменения основных показателей работы тракторного дизеля при изменении установочного угла опережения начала подачи топлива.

6.2. Определить оптимальный угол опережения начала подачи топлива с точки зрения наилучшей экономичности двигателя.

6.3. Сравнить полученные результаты с аналогичными техническими показателями лучших образцов отечественной и зарубежной техники.

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. Назовите условия 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. Объясните причины уменьшения мощности и увеличения удельного эффективного расхода топлива при увеличении угла опережения начала подачи топлива по отношению к оптимальному значению.
6. Объясните причины уменьшения мощности и увеличения удельного эффективного расхода топлива при уменьшении угла опережения начала подачи топлива по отношению к оптимальному значению.
7. Назовите значения установочного угла опережения начала подачи топлива для современных отечественных и зарубежных тракторных дизелей.

Рекомендуемый протокол испытаний

Б Г А Т У Кафедра «Тракторы и автомобили»		Регулировочная характеристика тракторного дизеля по установочному углу опережения начала подачи топлива						
		Дата _____ Двигатель № _____ ТНВД № _____						
		Параметры окружающей среды: $t_{\text{окр}} =$ _____, °C $B_{\text{окр}} =$ _____, КПа $\varphi_{\text{окр}} =$ _____, %						
		Плотность топлива (при 20 °C) = _____, т/м ³						
Номер опыта	$\Theta_{\text{впр}}$, град. п. к. в.	$M_{\text{к}}$, Н·м	n , мин ⁻¹	ΔG , г	τ_t , с	N_e , кВт	G_t , кг/ч	g_e , г/(кВт ч)
1								
2								
3								
4								

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Регулировочная характеристика бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания

1. Общие сведения

Регулировочной характеристикой по установочному углу опережения зажигания называется зависимость основных показателей двигателя от установочного угла опережения зажигания при постоянной частоте вращения к.в. и неизменном положении рычага управления подачей топлива (или положении дроссельной заслонки в случае карбюраторного двигателя).

Угол опережения зажигания измеряется в градусах поворота коленчатого вала (град. п. к. в.) относительно ВМТ.

Пример регулировочной характеристики бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания дан на рисунке 9.1.

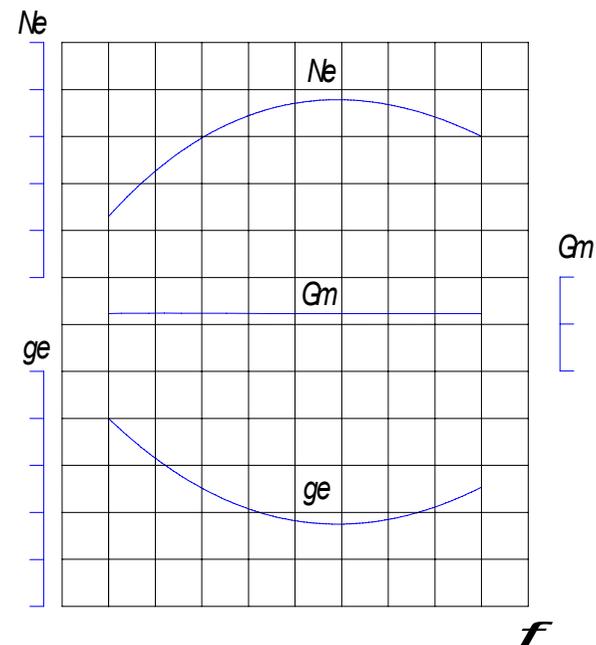


Рисунок 9.1. Пример регулировочной характеристики бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания

Угол опережения зажигания оказывает большое влияние на все эксплуатационные показатели бензинового двигателя, поэтому является важнейшим регулировочным параметром.

Указанная регулировочная характеристика снимается с целью определения оптимального установочного угла опережения начала подачи топлива. Критериями оптимальности могут служить экономичность, экологическая безопасность или компромисс между этими показателями двигателя.

Оптимальный угол опережения зажигания зависит от степени сжатия; качества бензина, в первую очередь, его октанового числа; давления и температуры на впуске и выпуске, способа смесеобразования, частоты вращения к.в. и нагрузки двигателя.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику снятия регулировочной характеристики бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания на испытательном стенде.

2.2. Освоить методику измерений основных показателей бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания.

2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графиков регулировочной характеристики бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха. В протокол испытаний заносится плотность применяемого бензина при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить

графики регулировочной характеристики бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Для снятия регулировочной характеристики по установочному углу опережения зажигания бензиновый двигатель оснащают устройством, позволяющим изменять и фиксировать момент подачи электрической искры.

Перед испытанием двигателя отключают центробежный и вакуумный регуляторы опережения зажигания.

Изменение угла опережения зажигания осуществляют вручную поворотом корпуса прерывателя-распределителя с помощью винтового регулировочного устройства. Крепление прерывателя-распределителя должно обеспечивать подачу искры зажигания в пределах от 10 град. п. к. в. после ВМТ и до 50 град. п. к. в. до ВМТ.

Значение оптимального угла опережения зажигания в первую очередь зависит от качества бензина. Поэтому испытание следует вести на том сорте бензина, который рекомендован заводом-изготовителем.

Измерения выполняются в следующей последовательности.

4.1. Запускается и прогревается двигатель.

4.2. Вращением корпуса прерывателя-распределителя устанавливается угол опережения зажигания $\varphi = 0$ град. п. к. в.

4.3. Устанавливается заданная постоянная частота вращения к. в. двигателя с помощью тормозного устройства испытательного стенда.

4.4. После стабилизации режима работы двигателя подается звуковой сигнал для выполнения измерений. Измеряются следующие показатели: крутящий момент, частота вращения к.в., время расходования контрольной дозы топлива, температура отработавших газов. При наличии в лаборатории газоанализатора измеряется содержание оксида углерода (II) – угарного газа в отработавших газах.

4.5. Угол опережения зажигания на 3...5 град. п. к. в. увеличивается поворотом корпуса прерывателя-распределителя.

4.6. Восстанавливается заданная частота вращения к.в. двигателя с помощью тормозного устройства испытательного стенда.

4.7. Выполняются измерения по п. 4.4.

4.8. Опыты по п. 4.7 проводятся до тех пор, пока мощность двигателя не начнет уменьшаться. После получения $N_{e \max}$ проводятся еще 2...3 опыта.

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

Примечание: при прослушивании детонационных стуков сделать соответствующие пометки в протоколе испытаний.

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются следующие показатели работы бензинового двигателя по регулировочной характеристике по установочному углу опережения зажигания.

5.1. Значения N_e , G_T , g_e (см. предыдущие работы).

5.2. Значения содержания оксида углерода (II) в отработавших газах по инструкции газоанализатора.

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

6. Анализ полученных результатов

6.1. Объяснить характер изменения основных показателей работы бензинового двигателя при изменении угла опережения зажигания.

6.2. Определить оптимальный угол опережения зажигания с точки зрения наилучшей экономичности двигателя.

6.3. Сравнить полученные результаты с аналогичными техническими показателями лучших образцов отечественной и зарубежной техники.

Контрольные вопросы

1. Что называется регулировочной характеристикой бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания?

2. С какой целью снимается регулировочная характеристика бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания?

3. Объясните характер графиков основных показателей работы двигателя по регулировочной характеристике бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания.

4. Назовите условия снятия регулировочной характеристики по установочному углу опережения зажигания.

5. Как влияет угол опережения зажигания на температуру и токсичность отработавших газов?

6. Объясните причины уменьшения мощности и увеличения удельного расхода топлива при увеличении угла опережения зажигания по отношению к оптимальному значению.

7. Объясните причины уменьшения мощности и увеличения удельного расхода топлива при уменьшении угла опережения зажигания по отношению к оптимальному значению.

8. Как влияет на выбор оптимального угла опережения зажигания изменение частоты вращения к.в. двигателя?

9. Как и по каким признакам производится корректировка установочного угла опережения зажигания в эксплуатационных условиях?

10. Какие значения установочного угла опережения зажигания характерны для современных бензиновых двигателей?

Рекомендуемый протокол испытаний

Б Г А Т У Кафедра «Тракторы и автомобили»		Регулировочная характеристика бензинового двигателя по установочному углу опережения зажигания						
		Дата _____ Двигатель № _____		Параметры окружающей среды: $t_{\text{окр}} =$ _____, °C $B_{\text{окр}} =$ _____, КПа $\phi_{\text{окр}} =$ _____, % Плотность бензина (при 20 °C) = _____, т/м ³				
Номер опыта	$\phi_{\text{заж}}$, град.п.к.в.	M_k , Н·м	n , мин ⁻¹	ΔG , г	τ_T , с	N_e , кВт	G_T , кг/ч	g_e , г/(кВт ч)
1								
2								
3								
4								

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Регулировочные характеристики тракторного дизеля по давлению на впуске и выпуске

1. Общие сведения

Определения и 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 к.в. 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 определение указанных регулировочных характеристик путем последовательного изменения давления на впуске и выпуске при постоянных расходе топлива и частоте вращения к.в.

Примеры регулировочных характеристик по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля приведены на рисунках 10.1, 10.2.

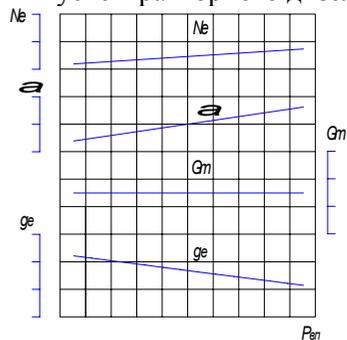


Рисунок 10.1. Пример регулировочной характеристики по давлению на впуске тракторного дизеля

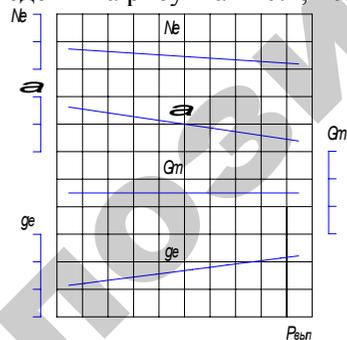


Рисунок 10.2. Пример регулировочной характеристики по давлению на выпуске тракторного дизеля

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

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методики снятия регулировочных характеристик по давлению на впуске и выпуске тракторного дизеля на испытательном стенде.

2.2. Освоить методики измерения основных показателей двигателя при снятии регулировочных характеристик на впуске и выпуске дизеля.

2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графиков регулировочных характеристик на впуске и выпуске дизеля.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики регулировочных характеристик.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

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 к.в. двигателя.

Каждому студенту поручается одно из действий:

- измерять давление на пуске 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, температуры 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 лаборантом постепенно увеличивается сопротивление на впуске и, соответственно, достигается уменьшение давления на впуске. При этом экономичность работы двигателя ухудшается и снижается частота вращения к.в. 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, т.е. будет выполняться условие снятия указанной регулировочной характеристики.

Экспериментальные данные заносятся в протокол испытаний.

Если на этом занятии моторные испытания больше проводиться не будут, двигатель переводится на режим холостого хода, а затем, при снижении температурного режима двигателя до необходимого уровня, двигатель глушится, испытательный стенд выключается.

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 лаборантом постепенно увеличивается сопротивление на выпуске и, соответственно, достигается увеличение давления на выпуске. При этом экономичность работы двигателя ухудшается и снижается частота вращения к.в. 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, т.е. будет выполняться условие снятия указанной регулировочной характеристики.

Экспериментальные данные заносятся в протокол испытаний.

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

5. Обработка результатов испытаний

По полученным экспериментальным данным рассчитываются и вносятся в протокол испытаний следующие расчетные показатели работы тракторного дизеля по регулировочным характеристикам: N_e , G_t , g_e , G_b , α .

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

6. Анализ полученных результатов

6.1. Объясните изменение основных показателей двигателя по полученным регулировочным характеристикам.

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

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?

Рекомендуемый протокол испытаний

БГАТУ Кафедра «Тракторы и автомобили»														Регулировочная характеристика тракторного дизеля на впуске (выпуске)					
														Дата _____ Двигатель № _____ ТНВД № _____					
														Плотность топлива (при 20 °С) = _____, т/м ³					
Номер опыта	$P_{\text{вп(вып)}}$	$n, \text{ мин}^{-1}$	$M_{\text{кв}}$ Н·м	$\Delta G, \text{ г}$	$\tau_{\text{в}}$ с	$\Delta V, \text{ м}^3$	$\tau_{\text{вп}}$ с	$t_{\text{в}}$ °С	$N_{\text{кв}}$ кВт	$G_{\text{вп}}$ кг/ч	$g_{\text{кв}}$ г/кВт·ч	$V_{\text{вп}}$ м ³ /ч	$G_{\text{вп}}$ кг/ч	α					
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Тепловой баланс ДВС

1. Общие сведения

Тепловым балансом ДВС называется распределение теплоты, выделяющейся при сгорании топлива в цилиндрах, на полезную работу и по видам тепловых потерь. Тепловой баланс определяется экспериментальным путем на различных режимах работы двигателя.

Тепловой баланс и его составляющие позволяют косвенно судить о тепловой напряженности 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:

$$Q = Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{ог}} + Q_{\text{нс}} + Q_{\text{ост}}, \text{ кДж/ч},$$

где Q – теплота, выделяющаяся при полном сгорании топлива; Q_e – теплота, превращенная в полезную работу; $Q_{\text{охл}}$ – теплота, отведенная в систему охлаждения; $Q_{\text{ог}}$ – теплота, унесенная с отработавшими газами; $Q_{\text{нс}}$ – неиспользованная часть теплоты топлива из-за неполного сгорания; $Q_{\text{ост}}$ – неучтенные потери (остаточный член теплового баланса).

Остаточный член учитывает теплоту, рассеиваемую в окружающую среду внешними поверхностями двигателя и его агрегатов, и теплоту, соответствующую кинетической энергии отработавших газов, и т.д.

Тепловой баланс может быть представлен в относительных единицах, в процентах (относительный тепловой баланс), которые более удобны 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.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить дополнительное оборудование, предназначенное для определения составляющих теплового баланса двигателя.

2.2. Освоить методику измерения основных показателей двигателя при определении составляющих теплового баланса двигателя.

2.3. Освоить методики обработки полученных экспериментальных данных и построения графических материалов, иллюстрирующих тепловой баланс двигателя.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных, построить графики, иллюстрирующие тепловой баланс двигателя.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Дополнительным оборудованием испытательного стенда для определения теплового баланса являются: 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.

4.1. Запустить двигатель и прогреть до рабочих температур.

4.2. Установить рычаг регулятора ТНВД в положение максимальной подачи топлива.

4.3. Устройством регулирования тормозного момента с пульта управления испытательного стенда установить режим номинальной мощности.

4.4. По звуковому сигналу измерить и занести в протокол испытаний значения: n , M_k , ΔG , τ_t , ΔV_b ; τ_b ; $t_{вх}$ и $t_{вых}$ – температур воды на входе и выходе системы охлаждения; $t_{ог}$ – температуру отработавших газов; $\tau_{охл}$ – время расхода контрольного объема охлаждающей жидкости $\Delta G_{охл} = 10$ л.

4.5. Устройством регулирования тормозного момента с пульта управления испытательного стенда установить промежуточный режим нагрузки.

4.6. По сигналу произвести измерения по п. 4.4.

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

5. Обработка результатов испытаний

5.1. Эффективная мощность N_e , часовой расход топлива G_T и расход воздуха G_b рассчитываются по известным формулам (см. лаб. работы 2, 4).

5.2. Расход охлаждающей жидкости рассчитывается по формуле:

$$G_{охл} = 3,6 \cdot \Delta G_{охл} / \tau_{охл}, \text{ кг/ч,}$$

где $\Delta G_{охл}$ – контрольный объем охлаждающей жидкости за опыт, л (кг).

5.3. Составляющие теплового баланса двигателя определяются по следующим формулам.

Теплота, выделяющаяся при полном сгорании топлива:

$$Q = H_u \cdot G_T, \text{ кДж/ч,}$$

где H_u – низшая теплота сгорания 1 кг топлива (для летнего дизельного топлива $H_u = 42800$ кДж/кг).

Количество теплоты, превращенной в эффективную работу:

$$Q_e = 3600 N_e, \text{ кДж/ч.}$$

Количество теплоты, отведенной в систему охлаждения:

$$Q_{охл} = G_{охл} c (t_{вых} - t_{вх}), \text{ кДж/ч,}$$

где c – теплоемкость охладителя (для воды $c = 4,18$ кДж/кг·град).

Количество теплоты, унесенной с отработавшими газами (упрощенная зависимость):

$$Q_{ог} = (G_T + G_b) \cdot c_p \cdot (t_{ог} - t_b),$$

где c_p – изобарная теплоемкость отработавших газов (для дизелей $c_p = 1,09$ кДж/кг·град); $t_{ог}$ и t_b – температуры отработавших газов и окружающего воздуха, °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:

$$Q_{ост} = Q - (Q_e + Q_{охл} + Q_{ог}), \text{ кДж/ч;}$$

$$q_{ост} = 100 - (q_e + q_{охл} + q_{ог}), \%$$

Результаты расчетов составляющих относительного теплового баланса на номинальном и промежуточном режимах заносятся в таблицу 11.2.

Рекомендуется составляющие относительного теплового баланса представить графически в виде секторных диаграмм (рисунок 11.1).

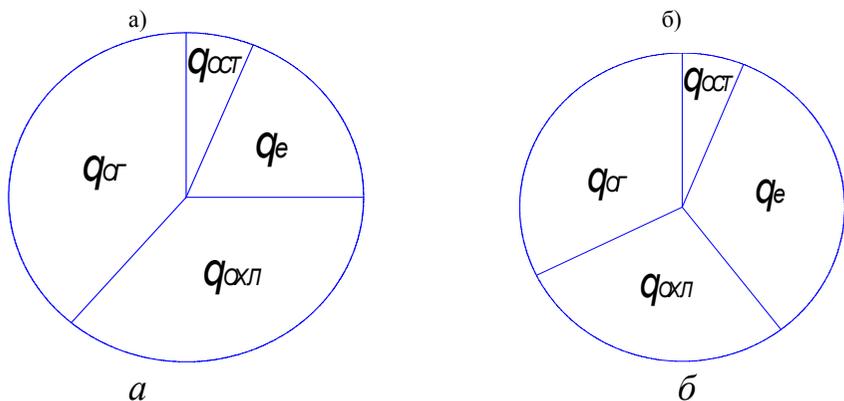


Рисунок 11.1. Примеры секторных диаграмм относительного теплового баланса двигателя: *a* – частичный режим; *б* – номинальный режим

6. Анализ полученных результатов

Рекомендуется сопоставить полученные составляющие относительного теплового баланса на номинальном режиме с их значениями у современных отечественных и зарубежных тракторных двигателей.

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...60 °С? Как это влияет на экономичность и долговечность двигателя?

Рекомендуемый протокол испытаний

Б Г А Т У Кафедра «Тракторы и автомобили»	Тепловой баланс двигателя	
	Дата _____	Двигатель № _____
	ТНВД № _____	
	Параметры окружающей среды: $t_{окр} =$ _____, °С $B_{окр} =$ _____, КПа $\phi_{окр} =$ _____, %	
Плотность топлива (при 20 °С) = _____, т/м ³		

Таблица 11.1 – Результаты испытаний

Режим работы двигателя	n , мин ⁻¹	$M_{кв}$, Н·м	ΔG_i , г	$\tau_{тв}$, с	ΔV_i , м ³	$\tau_{вв}$, с	$\Delta G_{охл}$, л	$\tau_{охл}$, с	Температуры, °С			$N_{э}$, кВт	$G_{тв}$, кг/ч	$G_{вв}$, кг/ч	$\bar{G}_{охл}$, кг/ч
									$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{ог}$				
Полная мощность															
Частичная мощность															

Таблица 11.2 – Относительный тепловой баланс двигателя

Режим работы двигателя	Составляющие теплового баланса, %				
	q_e	$q_{охл}$	$q_{ог}$	$q_{мс}$	$q_{ост}$
Полная мощность					
Частичная мощность					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Индицирование ДВС

1. Общие сведения

Для оценки основных показателей (параметров) рабочего процесса ДВС выполняется индицирование – экспериментальное исследование внутрицилиндрового рабочего процесса на эксплуатационных режимах.

Параметры действительного цикла дизеля (p_z – давление в конце сгорания, $dp/d\phi$ – жесткость сгорания, T_z – температура в конце сгорания, продолжительность сгорания) оказывают значительное влияние на основные эксплуатационные показатели двигателя, надежность и долговечность работы поршневой группы, коленчатого вала и его подшипников, шатуна, уплотнения головки цилиндров.

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. При этом сложность и быстротечность протекания отдельных этапов рабочего процесса предъявляет 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.

При индицировании двигателей с искровым зажиганием датчик монтируется в свече искрового зажигания, конструкция двигателя в этом случае не меняется.

Чаще всего в качестве датчиков давления применяются пьезокварцевые датчики из-за высокой собственной частоты чувствительного элемента и высокого уровня выходного сигнала.

Измерительно-регистрационная цепь при выполнении индицирования имеет составляющие звенья: датчик давления – усилитель

(если необходим) – аналогово-цифровой преобразователь – персональный компьютер. Все оборудование вместе называется индикатором.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику выполнения индицирования тракторного дизеля при его нагружении тормозным устройством испытательного стенда.

2.2. Освоить методику измерения основных показателей рабочего процесса двигателя при выполнении индицирования тракторного дизеля.

2.3. Освоить методику обработки полученных экспериментальных данных по результатам индицирования тракторного дизеля.

2.4. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний по форме, приведенной в методических указаниях.

3.2. Перед началом испытаний в протоколе испытаний записать дату, марку и заводской номер двигателя, барометрическое давление, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, плотность применяемого дизельного топлива при температуре 20 °С.

3.3. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места.

3.4. Произвести измерения (см. методические указания), выполнить обработку полученных экспериментальных данных.

3.5. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

Для индицирования тракторного дизеля может применяться специализированное измерительно-регистрающее оборудование – индикатор или могут быть подобраны и согласованы по пропускаемой частоте сигнала 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 к.в., 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 рисунке 12.1 приведен пример свернутой индикаторной диаграммы.

Порядок проведения испытания и измерений.

- 4.1. Включить и прогреть индикатор.
- 4.2. Включить систему охлаждения датчика давления индикатора.
- 4.3. Запустить двигатель и установить рычаг управления подачей в положение максимальной подачи топлива.

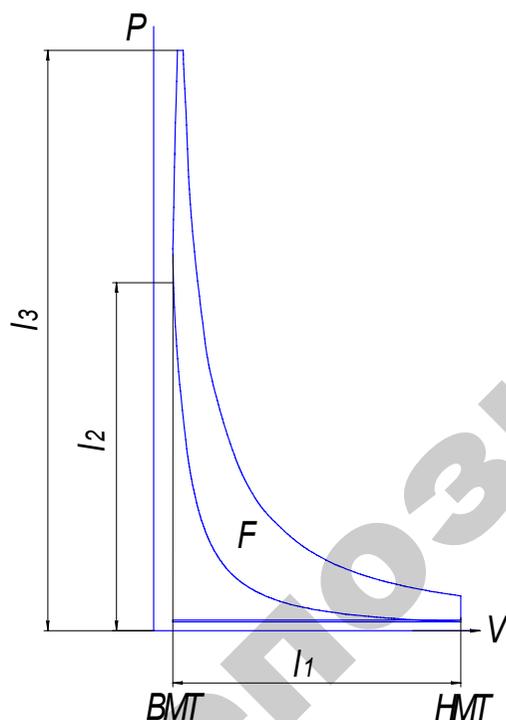


Рисунок 12.1. Пример свернутой индикаторной диаграммы в координатах $P-V$

4.4. 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). Обратит особое внимание на увеличение максимального давления цикла и площади диаграммы (работа цикла) с возрастанием нагрузки.

4.5. Вывести двигатель на номинальный режим работы, по указанию преподавателя занять рабочие места для измерений частоты вращения к.в., нагрузки двигателя и времени расхода контрольной дозы топлива. По сигналу преподавателя произвести соответствующие измерения, зафиксировать изображение индикаторной диаграммы.

4.6. 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.

5. Обработка результатов испытаний

Для целей данной лабораторной работы более удобно обрабатывать свернутую индикаторную диаграмму двигателя (рисунок 12.1).

По результатам испытаний и зафиксированному изображению индикаторной диаграммы рассчитываются следующие показатели работы дизеля.

5.1. Значения p_e , N_e , G_T , g_e (см. предыдущие работы).

5.2. С помощью планиметра (или миллиметровой бумаги) определяется площадь индикаторной диаграммы F в мм^2 и линейкой измеряются длина диаграммы l_1 в мм и ординаты точек c (l_2) и z (l_3) (рисунок 12.1).

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; h – расстояние по ординате, соответствующее образцовому давлению p .

5.3. Рассчитываются следующие параметры:

- давление в конце сжатия

$$p_c = l_2 \mu, \text{ МПа};$$

- давление в конце сгорания

$$p_z = l_3 \mu, \text{ МПа};$$

- степень повышения давления

$$\lambda = p_z / p_c.$$

Площадь свернутой индикаторной диаграммы изображает в определенном масштабе удельную работу газов при сгорании (отношенную к единице поверхности поршня). Отсюда находят:

- среднее индикаторное давление

$$p_i = \mu \cdot F / l_1, \text{ МПа};$$

- индикаторная мощность двигателя

$$N_i = p_i \cdot i \cdot V_h \cdot n / (30 \cdot \tau_d), \text{ кВт};$$

- мощность механических потерь

$$N_{мп} = N_i - N_e, \text{ кВт};$$

- индикаторный удельный расход топлива

$$g_i = 10^3 \cdot G_T / N_i, \text{ г/(кВт ч)};$$

- механический КПД

$$\eta_m = N_e / N_i = p_e / p_i;$$

- индикаторный КПД

$$\eta_i = 3600 N_i / (H_u \cdot G_T);$$

- эффективный КПД

$$\eta_e = 3600 N_e / (H_u \cdot G_T).$$

6. Анализ полученных результатов

Рекомендуется сравнить полученные значения основных показателей рабочего процесса исследованного двигателя с аналогичными показателями лучших образцов современных отечественных и зарубежных тракторных и автомобильных двигателей.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение индицирования двигателя.
2. Назовите состав измерительно-регистрирующей цепи индикатора и объясните принцип работы индикатора.
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?

Рекомендуемый протокол испытаний

Б Г А Т У Кафедра «Тракторы и автомобили»	Индицирование двигателя
	Дата _____ Двигатель _____ ТНВД № _____
	Параметры окружающей среды: t окр = _____, °С В окр = _____, кПа φ окр = _____, %
	Плотность топлива (при 20 °С) = _____, т/м ³

Таблица 12.1 – Результаты испытаний

Но- мер опы- та	n, мин ⁻¹	M _к , Н м	ΔG, г	τ _т , с	Параметры индикаторной диаграммы				
					F, мм ²	l ₁ , мм	l ₂ , мм	l ₃ , мм	μ, МПа/мм
1									
2									
3									

Таблица 12.2 – Расчетные показатели

N _e	G _T , кг/ч	p _e , МПа	g _e , г/кВт·ч	p _c , МПа	p _z , МПа	λ	p _i , МПа	N _i , кВт	g _i , г/кВт·ч	N _{мп} , кВт	η _м	η _i	η _e
1													
2													
3													

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

Определение моментов инерции маховика и движущихся деталей двигателя

1. Общие сведения

При решении различных задач динамики двигателя представляет интерес экспериментальное определение:

- момента инерции маховика двигателя I_M ;
- момента инерции движущихся деталей (масс) двигателя, приведенного к оси коленчатого вала I_d ;
- моментов инерции двигателя относительно координатных осей, проходящих через центр тяжести: I_x, I_y, I_z .

Определение I_M и I_d необходимо для анализа неустановившихся режимов работы двигателя (разгон, замедление, неравномерность вращения и т.п.). Знание моментов инерции двигателя относительно координатных осей необходимо при расчете колебаний двигателя и его упругой подвески.

Применяются два основных метода экспериментального определения указанных моментов инерции:

- 1) метод раскачивания маховика на подвесках относительно заданной оси (I_M, I_x, I_y, I_z);
- 2) метод выбега двигателя (для определения I_d).

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику проведения испытаний по определению моментов инерции маховика методом раскачивания на подвесах и приведенного момента инерции движущихся деталей двигателя методом выбега.

2.2. Освоить практику измерения моментов инерции маховика и приведенного момента инерции движущихся деталей двигателя и обработки результатов полученных экспериментальных данных.

2.3. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями и подготовить протокол испытаний.

3.3. По указанию преподавателя студентам распределиться на бригады и каждой из них поочередно провести измерения самостоятельно. По окончании испытаний определить средние результаты измерений.

3.4. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.5. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по выполнению работы

4.1. Для определения момента инерции маховика методом раскачивания маховик подвешивают на тонких проволоках, которые условно считают абсолютно жесткими и невесомыми (рисунок 13.1). Маховик закручивают относительно оси вращения на 180° и отпускают. С помощью секундомера определяют время 10 колебаний τ_{10} , с, и определяют период одного колебания T , с.

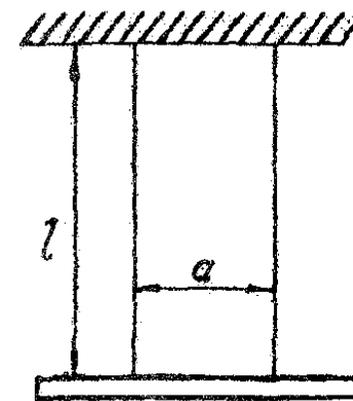


Рисунок 13.1. Схема установки для определения момента инерции маховика

4.2. При определении приведенного момента инерции движущихся деталей методом выбега предварительно прогретый двигатель прокручивается балансирной машиной испытательного стенда (режим задается преподавателем). В протоколе испытаний фиксируются частота вращения к.в. n , мин^{-1} , и усилие прокручивания P , Н.

По сигналу резко выключается муфта сцепления (двигатель отсоединяется от балансирной машины стенда) и одновременно

включается секундомер. Секундомер выключается в момент полной остановки двигателя. В протоколе испытаний фиксируется время выбега τ_w , с.

5. Обработка результатов испытаний

5.1. Момент инерции маховика с планкой определяется по формуле:

$$I_{M+П} = g (G_M + G_П) a^2 T_1^2 / (16 \cdot \pi^2 \cdot l), \text{ кг м}^2,$$

где G_M – масса маховика, кг; $G_П$ – масса планки, кг; a – расстояние между нитями подвеса, м; l – длина подвесных нитей, м; T_1 – период одного колебания маховика с планкой, с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

5.2. Момент инерции планки:

$$I_П = g G_П a^2 T_2^2 / (16 \cdot \pi^2 \cdot l), \text{ кг м}^2,$$

где T_2 – период одного колебания планки, с.

5.3. Момент инерции маховика:

$$I_M = I_{M+П} - I_П.$$

Поскольку масса планки значительно меньше массы маховика, ее моментом инерции можно пренебречь. По указанию преподавателя момент инерции маховика допускается определять по формуле:

$$I_M = g G_M a^2 T_1^2 / (16 \cdot \pi^2 \cdot l), \text{ кг м}^2.$$

5.4. Приведенный момент инерции движущихся деталей двигателя:

$$I_d = M_c / \varepsilon, \text{ кг м}^2,$$

где M_c – средняя величина момента сопротивления при прокрутке двигателя на стенде, Н·м; ε – угловое замедление:

$$\varepsilon = \pi \cdot n / (30 \cdot \tau_w), \text{ рад/с}^2,$$

где n – частота вращения к.в. при прокрутке двигателя, мин^{-1} ; τ_w – время выбега, с.

5.5. Результаты расчетов заносятся в таблицы 13.1 и 13.2.

Таблица 13.1 – Определение момента инерции маховика

G_M , кг	a , м	l , м	τ_{10} , с	T_1 , с	I_M , кг м ²

Таблица 13.2 – Определение приведенного момента инерции движущихся деталей двигателя

M_c , Н·м	n , мин^{-1}	τ_w , с	ε , рад/с ²	I_d , кг м ²

6.1. Подсчитать процентное отношение, которое составит момент инерции маховика в общем моменте инерции движущихся деталей двигателя.

6.2. Сравнить полученные значения указанных показателей с аналогичными показателями лучших образцов отечественной и зарубежной автотракторной техники.

Контрольные вопросы

1. Сколько процентов составляет момент инерции маховика от общего момента инерции движущихся деталей у современных автотракторных двигателей?
2. Что нужно сделать с маховиком для сохранения заданной равномерности вращения к.в. при увеличении или уменьшении числа цилиндров?
3. Какие поршневые двигатели могут работать без маховика?
4. На какие показатели влияет приведенный момент инерции отдельных движущихся масс двигателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Измерения и спектральный анализ вибраций двигателя

1. Общие сведения

В практике измерений вибраций используют следующие параметры колебательного процесса: вибросмещение a , виброскорость v , виброускорение j (см. схему вибропреобразователя и интегратора, приложение 1) и их уровни, измеряемые в децибеллах (дБ). Вибрационные и шумовые характеристики относятся к основным техническим характеристикам современных тракторных и автомобильных двигателей. Методики их определения и допустимые значения устанавливаются государственными стандартами на тракторные, комбайновые и автомобильные двигатели.

Вибрационными характеристиками тракторных и комбайновых двигателей являются:

- общий логарифмический уровень виброскорости корпуса дизеля и опорных кронштейнов в вертикальном L_{vv} и горизонтальном L_{vg} направлениях, измеряемый в дБ – основная характеристика по ОСТ 23.3.23–88;

- логарифмические уровни виброскорости дизеля в дБ в третьоктавных полосах частот (со среднегеометрическими частотами 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000 Гц), иными словами, третьоктавный спектр виброскорости колебательного процесса корпуса двигателя и его опорных кронштейнов.

Логарифмический уровень виброскорости определяется выражением:

$$L = 20 \cdot \lg \frac{V}{V_0} \text{ дБ},$$

где V – среднеквадратическое (эффективное) значение виброскорости в волне, м/с; V_0 – пороговое значение виброскорости, $V_0 = 5 \cdot 10^8$ м/с – международный стандарт.

Общий логарифмический уровень виброскорости – энергетическая сумма логарифмических уровней виброскорости всех гармо-

нических составляющих колебательного процесса двигателя – определяется по формуле:

$$L_v = 10 \cdot \lg \sum_{n=1}^n 10^{-0,1L_n} \text{ дБ},$$

где L_v – общий уровень виброскорости, дБ; L_n – уровень виброскорости n -го составляющего колебаний или в n -ой полосе третьоктавных (октавных) частот, дБ.

Третьоктавный спектр виброскорости является более полной и подробной характеристикой колебательного процесса, чем общий уровень. Имея третьоктавный спектр можно по приведенной формуле рассчитать общий уровень виброскорости (его можно и измерить). Однако третьоктавный спектр может быть получен только экспериментальным путем.

2. Цель проведения работы

2.1. Изучить методику проведения испытаний по определению вибрационных характеристик тракторных и комбайновых двигателей.

2.2. Освоить методики измерения и спектрального анализа вибрации, получить практические навыки оценки вибрации двигателя и обработки опытных данных.

2.3. Освоить основы анализа полученных результатов.

3. Порядок проведения работы

3.1. Ознакомиться с методическими указаниями. Изучить и зарисовать блок-схему измерительной установки, принципиальную схему вибропреобразователя (см. приложение 1). Подготовить протокол испытаний.

3.2. По указанию преподавателя студентам занять рабочие места. Каждая бригада студентов (3...4 человека) проводит измерения вибраций в одной точке на двигателе.

3.3. Произвести измерения (см. методические указания) и обработку полученных экспериментальных данных.

3.4. Проанализировать результаты проведенных испытаний.

3.5. Ответить на контрольные вопросы.

4. Методические указания по проведению работы

Измерения общих уровней виброскорости двигателя и опорных кронштейнов проводятся при последовательной установке вибропреобразователя в вертикальном и горизонтальном направлениях:

- в передней и задней части корпуса двигателя;
- на задних и передних кронштейнах крепления двигателя.

При учебных измерениях допускается крепить вибропреобразователь посредством магнитного держателя.

Опыты проводятся в следующей последовательности:

- установить вибропреобразователь в заданной точке вертикально (во втором опыте – горизонтально);
- вывести двигатель на номинальный режим работы;
- включить на аттенюаторе замер виброскорости;
- снять показания с индикатора и записать в протокол испытаний общий уровень виброскорости;
- последовательно переключая фильтры, зафиксировать в протоколе испытаний значения виброскорости в каждой третьоктавной полосе частот.

5. Обработка результатов испытаний

Оценка и нормирование вибраций проводятся по средним значениям замеренных уровней виброскорости сначала в вертикальном, а затем в горизонтальном направлениях соответственно для корпуса двигателя и опорных кронштейнов. Это относится как к общим уровням, так и к уровням виброскорости в третьоктавных полосах частот.

Средний уровень виброскорости во всех упомянутых случаях рассчитывается по формуле:

$$L_v = 10 \cdot \lg \sum_{k=1}^k 10^{0,1L_{vk}} - 10 \cdot \lg K, \text{ дБ},$$

где L_{vk} – замеренный уровень виброскорости (общий или в полосе частот) в K -ой точке измерений вертикальных (горизонтальных) колебаний; K – количество точек измерений.

Вычисленные значения средних общих логарифмических уровней виброскорости вертикальных (горизонтальных) вибраций двигателя и кронштейнов крепления заносятся в протокол испытаний

(средние уровни в третьоктавных полосах при учебных измерениях не вычисляются).

6. Анализ полученных результатов

Полученные результаты необходимо сравнить с нормативным уровнем анализируемых показателей. Сделать вывод о соответствии или несоответствии испытанного двигателя требованиям существующих стандартов.

Контрольные вопросы

1. Почему оценка колебаний двигателя проводится по виброскорости колебательного процесса?
2. Какими параметрами кроме виброскорости можно оценить вибрационные колебания двигателя и как связаны эти параметры между собой (для гармонических колебаний)?
3. В каких случаях измеряют виброускорение, виброскорость или вибросмещение двигателя?
4. Что называют спектральным анализом вибраций двигателя, когда он необходим?

Рекомендуемый протокол испытаний

Б Г А Т У Кафедра «Тракторы и автомобили»	Измерения и спектральный анализ вибраций двигателя
	Дата _____ Двигатель _____ ТНВД № _____
	Параметры окружающей среды: $t_{\text{окр}} =$ _____, °С $B_{\text{окр}} =$ _____, КПа $\varphi_{\text{окр}} =$ _____, %

Объект	Общий уровень виброскорости L_v , дБ			Средний уровень виброскорости L_v , дБ	
	Корпус двигателя	Спереди	Вертикально		Вертикально
Горизонтально					
Сзади		Вертикально		Горизонтально	
		Горизонтально			
Кронштейн крепления двигателя	Передний	Вертикально		Вертикально	
		Горизонтально			
	Задний	Вертикально		Горизонтально	
		Горизонтально			

Частота, Гц	12,5	16	20	2000
Уровень виброскорости, дБ				

ЛИТЕРАТУРА

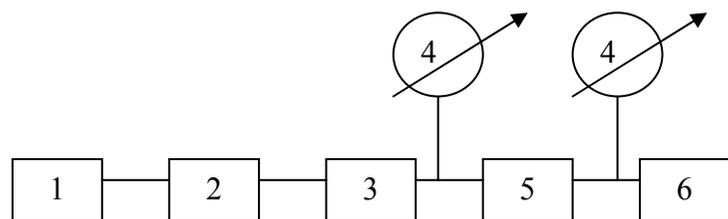
Основная

1. *Богатырев, А. В.* Тракторы и автомобили / А. В. Богатырев, В. Р. Лехтер. – Москва : Колос, 2005. – 400 с.
2. *Николаенко, А. В.* Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А. В. Николаенко. – Москва : Колос, 1984. – 335 с.
3. *Хитрюк, В. А.* Практикум по автотракторным двигателям : учебное пособие / В. А. Хитрюк, Е. С. Цехов. – Минск : Ураджай, 1989. – 143 с.

Стандарты

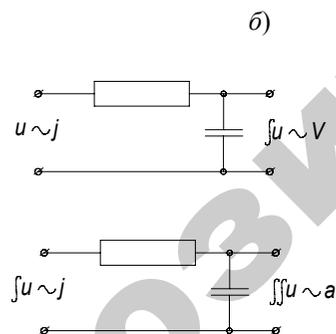
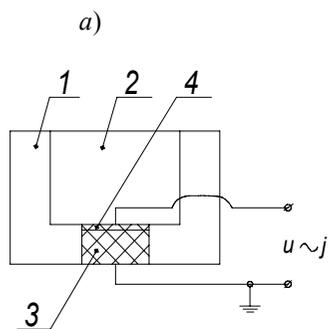
4. ГОСТ 18509–88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 68 с.
5. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний: Взамен ГОСТ 14846–69. – Введ. 1982.01.01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 55 с.
6. ГОСТ 17.2.2.05–97. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин: Взамен ГОСТ 17.2.2.05–86. – Введ. 1999-07-01. – Минск: Межгос. Совет по стандарт., метрол. и сертификации, 1999. – 9 с. – (Межгосударственные стандарты).
7. ГОСТ 17.2.2.02–98. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин: Взамен ГОСТ 17.2.2.02–86. – Введ. 1999-07-01. – Минск: Межгос. Совет по стандарт., метрол. и сертификации, 1999. – 13 с. – (Межгосударственные стандарты).
8. ОСТ 23.3.23–88. Дизели тракторные и комбайновые. Предельные значения шумовых и вибрационных характеристик. Методы определения: Взамен ОСТ 23.1.446-82. – Введ. 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 36 с.

БЛОК-СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ



- 1 – вибропреобразователь;
- 2 – интегратор;
- 3 – усилитель;
- 4 – стрелочный индикатор;
- 5 – спектрометр;
- 6 – самописец.

**ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ (а) И ИНТЕГРАТОРА (б)**



- 1 – корпус;
- 2 – груз (сейсмическая масса);
- 3 – пьезоэлемент;
- 4 – изолятор.

Учебное издание

Боровиков Валентин Федорович, **Шабуня** Михаил Аркадьевич,
Поздняков Николай Анатольевич и др.

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ТРАКТОРНЫХ
И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Лабораторный практикум

4-е издание, переработанное и дополненное

Ответственный за выпуск *А. И. Бобровник*
Редактор *Н. А. Антипович*
Компьютерная верстка *А. И. Стебуля*

Подписано в печать 26.01.2010 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 5,24. Тираж 163 экз. Заказ 275.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006.

ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.