

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

ИСПЫТАНИЯ МАШИН

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 629.33
ББК 39.9
И88

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Транспортные и технологические машины»
«30» мая 2023 г., протокол № 9

Составитель ст. преподаватель В. И. Сёмчен

Рецензент канд. техн. наук А. Е. Науменко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов направления подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» очной формы обучения.

Учебное издание

ИСПЫТАНИЯ МАШИН

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа № 1. Сборка измерительной схемы и её тарировка.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Разработка программы-методики испытаний ...	10
3 Лабораторная работа № 3. Исследование разгона машины с гидромеханической передачей на моторно-динамическом стенде	11
4 Лабораторная работа № 4. Оценка тяговых характеристик машины на стенде с беговыми барабанами	15
5 Лабораторная работа № 5. Снятие скоростных характеристик дизеля.....	19
6 Лабораторная работа № 6. Определение характеристик гидротрансформатора	23
7 Лабораторная работа № 7. Снятие характеристик всережимного регулятора ТНВД дизеля	28
8 Лабораторная работа № 8. Определение характеристик амортизатора и рессоры подвески	32
9 Лабораторная работа № 9. Определение характеристик двигателя с принудительным воспламенением	35
10 Лабораторная работа № 10. Оценка КПД трансмиссии	38
Список литературы	41
Приложение А	42

Введение

Целью лабораторных работ по дисциплине «Испытания машин» является получение студентами практических навыков работы в роли инженера-испытателя машиностроительного завода.

Подготовка к каждой лабораторной работе заключается в самостоятельном изучении по заданной теме учебников, специальной литературы, конспектов лекций, методических рекомендаций и иных материалов.

Организация лабораторных работ предполагает тщательное изучение по каждой теме методических рекомендаций и самостоятельное проведение исследований в присутствии преподавателя-консультанта в специализированной лаборатории № 116 «Стендовый зал» корпуса № 3.

Работа на оборудовании связана с подвижными элементами и высоким напряжением. Поэтому следует строго придерживаться Правил техники безопасности и без инструктажа на рабочем месте не приступать к практической работе!

Отчёт по каждой работе оформляется на двойном листе тетради. Во время защиты отчёт предъявляется, а после неё сдаётся преподавателю.

1 Лабораторная работа № 1. Сборка измерительной схемы и её тарировка

Цель работы: изучение структуры измерительной схемы, методики её тарировки с оценкой погрешности измерений, а также получение навыков практической работы в сборке измерительных цепей.

1.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение инструкций к приборам, составляющим измерительную схему.
- 3 Сборка измерительных цепей.
- 4 Калибровка и тарировка собранных измерительных схем.
- 5 Оценка погрешности измерений.

1.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Виброизмерительная аппаратура ВИ6-6ТН с датчиками перемещений и ускорений.
- 2 Блок питания ± 28 В.
- 3 Осциллограф Н-117 с блоком питания.

1.3 Основные положения

При испытаниях любой техники измеряют: механические величины (угловую скорость ω , момент M , линейную скорость v , угол поворота φ и др.), гидравлические величины (давление p , расход Q), электрические величины (напряжение U , силу тока I), а также параметры и характеристики другой физической природы. Однако современная регистрирующая аппаратура обрабатывает исключительно электрические сигналы, т. е. изменения напряжения и силы тока. Поэтому для регистрации почти каждой динамически изменяемой измеряемой величины требуется, кроме собственно регистрирующего прибора, первичный преобразователь (датчик), который преобразует измеряемую величину в электрический сигнал, а также промежуточный преобразователь, например усилитель, токосъёмник или иной прибор. Значит, в общем случае схема измерений содержит:

- 1) датчик (первичный преобразователь сигнала измерений);
- 2) промежуточный преобразователь (усилитель, токосъёмник и т. д.);
- 3) регистрирующее устройство (ЭВМ, осциллограф, самописец и т. п.), которое записывает измеряемый сигнал на свой носитель информации.

Осциллограф Н-117 представляет собой универсальный регистрирующий прибор магнитоэлектрической системы с оптической записью на фотоленте до двенадцати исследуемых процессов при проведении стендовых испытаний техники.

Светолучевой осциллограф состоит из следующих узлов:

- 1) лентопротяжного механизма с кассетой для фотобумаги;
- 2) источника света – ртутной лампы ДРШ 100-2;
- 3) оптической системы с отметчиком времени;
- 4) магнитного блока с комплектом гальванометров;
- 5) пульта управления;
- 6) комплекта соединительных кабелей с клеммными колодками;
- 7) блока питания.

Осциллограф имеет 12 скоростей движения фотоленты (от 0,5 до 10000 мм/с). Основная погрешность регистрации составляет 1,5 % при времени прогрева не менее 10 мин. Электропитание осуществляется от источника переменного тока 220 В, 50 Гц. Потребляемый осциллографом ток составляет 4,5 А.

Электрические сигналы, поступающие в осциллограф, преобразуются его чувствительными элементами (гальванометрами) и оптической системой в соответствующую ординату светового луча, отображаемого на фотоленте.

Гальванометры устанавливаются в гнездах магнитного блока, расположенного с противоположной стороны от кассеты и закрываемого крышкой. Принцип действия гальванометра основан на взаимодействии электрического тока, проходящего через него, с постоянным магнитным полем и отклонением встроенного в гальванометр миниатюрного зеркальца на пропорциональный току угол. Внутренняя полость гальванометра заполнена демпфирующей жидкостью. Осциллограф Н-117 комплектуется гальванометрами модели НУ-84 восьми типов (номеров).

Подбор гальванометров необходимо производить в зависимости от требуемой чувствительности, т. е. амплитуды электрического сигнала (максимальной величины протекающего через него тока), и от частоты регистрируемого процесса. Во избежание порчи гальванометра категорически запрещается превышать максимально допустимую величину тока I_{\max} .

В магнитном блоке каждый гальванометр фиксируется винтом. При отсутствии гальванометра для стабильной работы остальных в пустые отверстия магнитного блока необходимо устанавливать специальные магнитные вкладыши (имитаторы гальванометров).

С целью учёта времени в осциллографе через определённые интервалы времени (в зависимости от заданной скорости) генерируются световые импульсы, отображаемые на фотоленте в виде вертикальных отметок времени.

ВИ6-6ТН – это виброизмерительная индуктивная шестиканальная шестого поколения с выходом по току и по напряжению аппарата, которая работает в комплекте с индуктивными датчиками и имеет повышенную чувствительность. Отличительной особенностью аппаратуры является не критичность её амплитудно-частотной характеристики к сопротивлению регистраторов (гальванометров), т. е. в выходе по току нагрузка может меняться от 3 до 30 Ом, а в выходе по напряжению – не менее 5 кОм.

В основе работы рассматриваемой аппаратуры ВИ6-6ТН лежит принцип амплитудной модуляции (преобразования) несущей частоты индуктивными датчиками, катушки которых подключены к усилителю по дифференциальной полумостовой схеме (рисунок 1.1).

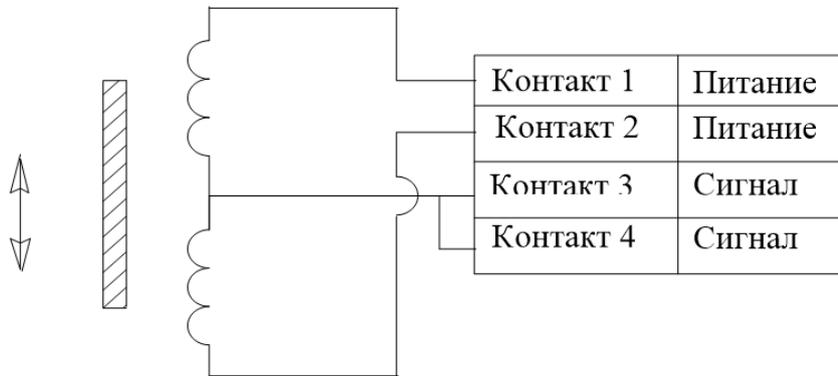


Рисунок 1.1 – Схема индуктивного датчика ВИ6-6ТН

От встроенного в ВИ6-6ТН генератора несущей частоты на обмотки датчиков поступает переменное напряжение частотой 6 кГц. При перемещении якоря датчика происходит изменение индуктивности катушек (обмоток) датчика, а значит, и реактивного сопротивления плеч полумоста измерительной схемы. Это приводит к изменению тока, протекающего по измерительной схеме.

Сигнал от датчика идёт на демодулятор, где отсекается несущая частота, после чего сигнал усиливается и поступает на выход, т. е. к регистрирующему прибору.

Перед испытаниями какого-либо объекта после сборки измерительной цепи проводят её калибровку (установку нуля), тарировку (масштабирование) с учётом АЧХ и оценку погрешности измерений.

Тарировка аппаратуры сводится к нахождению коэффициента тарировки (чувствительности) измерительной схемы (датчик – усилитель – луч гальванометра), определяющего изменение входной величины к выходной величине (миллиметры отклонения луча гальванометра). То есть коэффициент тарировки – это отношение приращения входного сигнала dA измеряемой величины к приращению выходного сигнала dZ на регистрирующем приборе:

$$k = dA / dZ. \quad (1.1)$$

Калибровку и тарировку измерительной схемы осуществляют прибором-указателем с известной ценой деления. При этом входной сигнал изменяют от минимального до максимального значений, регистрируют выходной. Затем строят графики $A = f(Z)$ и $k = f(Z)$. Задаваясь допустимым отклонением

коэффициента тарировки Δk ($\pm 5\%$), определяют диапазон линейной зависимости выходного сигнала от входного.

Если измеряемая величина меняется со значительной частотой (более 10 Гц), то проводят не только статическую тарировку, но и динамическую. При этом определяют зависимость динамического коэффициента тарировки k_d от частоты исследуемого процесса Ω . Тогда АЧХ измерительной цепи определится зависимостью $A(\Omega) = k / k_d$.

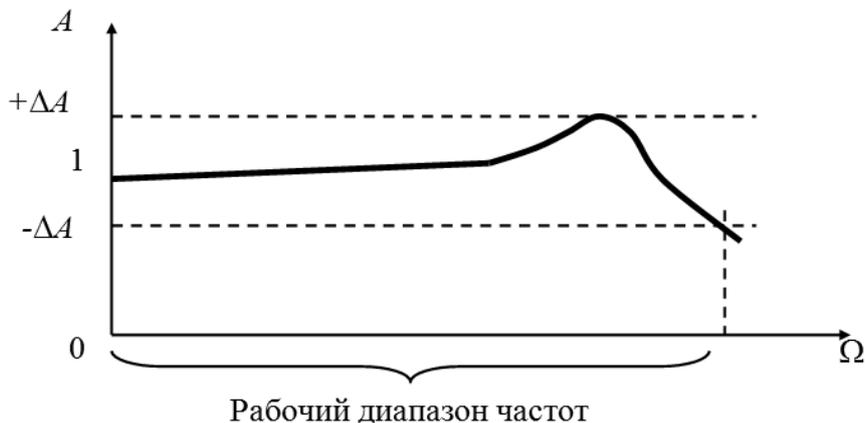


Рисунок 1.2 – АЧХ измерительной цепи

При измерениях могут быть погрешности случайные и систематические. И те и другие зависят от исследователя, приборов, внешних факторов, например вибрации.

Для оценки погрешности (доверительного интервала) экспериментальной характеристики при возможности многократных измерений в каждой её точке выполняются следующие действия:

- 1) при регистрации каждой j -й точки Z_j определяемой характеристики необходимо выполнить несколько параллельных опытов ($n \geq 3$);
- 2) вычислить среднее значение регистрируемой величины для каждой j -й точки снимаемой характеристики $Z_{j,cp}$;
- 3) оценить среднее квадратическое отклонение для каждой j -й точки:

$$\sigma_{zj} = \sqrt{\frac{\sum (Z_{ji} - Z_{j,cp})^2}{n - 1}}; \quad (1.2)$$

- 4) определить доверительный интервал a_Z в каждой j -й точке снимаемой характеристики:

$$a_Z = \pm t_\alpha \sigma_{zj}, \quad (1.3)$$

где t_α – коэффициент Стьюдента для данного количества повторных измерений и принятой доверительной вероятности α (как правило, принимают $\alpha = 0,95$).

Тогда для числа параллельных опытов $n = 3$ коэффициент $t_\alpha = 4,30$; для $n = 4$ имеем $t_\alpha = 3,18$; для $n = 5$ имеем $t_\alpha = 2,78$).

При однократных измерениях в каждой точке снимаемой характеристики погрешность измерений будет определяться приведенными погрешностями приборов, составляющих измерительную схему:

$$a_z = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + \dots}, \quad (1.4)$$

где a_i – отношение цены деления прибора к измеряемому диапазону.

1.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации, необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной лабораторной работе отразить:

- а) цель исследований;
- б) задачи исследований;
- в) функциональную схему измерительной цепи;
- г) принципиальные схемы датчика перемещений и датчика ускорений ВИ6-6ТН.

2 Собрать измерительную цепь для оценки ускорений, откалибровать её и определить коэффициент тарировки, продемонстрировав преподавателю результаты работы.

3 Собрать измерительную цепь для оценки перемещений, откалибровать её и определить коэффициент тарировки, продемонстрировав преподавателю результаты работы.

4 Отобразить в отчёте полученные коэффициенты тарировки.

5 Определить доверительный интервал коэффициента тарировки для цепи измерения перемещений, отразив полученные данные в отчёте.

1.5 Меры безопасности

В электросети высокое напряжение (220 В). Поэтому подключать аппаратуру необходимо с осторожностью.

Контрольные вопросы

- 1 Каковы составляющие измерительной схемы?
- 2 В чем заключается калибровка и тарировка измерительной схемы?
- 3 Каков принцип работы индуктивного датчика?
- 4 Какие методики оценки погрешности измерений применяют?

2 Лабораторная работа № 2. Разработка программы-методики испытаний

Цель работы: получение практических навыков в составлении программы-методики испытаний.

2.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение структуры программы и методики испытаний.
- 2 Ознакомление с заводской программой-методикой испытаний.
- 3 Составление программы-методики испытаний по заданию.

2.2 Основные положения

Перед проведением испытаний составляются два документа – программа испытаний и методика испытаний. Иногда они объединяются в один документ – программа-методика испытаний.

Программа испытаний – это организационно-методический документ, где отражается цель, объём и последовательность всех работ и содержатся следующие разделы.

- 1 Вводная часть, где обоснована необходимость данных испытаний.
- 2 Объект испытаний с точным указанием полного наименования изделия и его заводского номера.
- 3 Цель испытаний, т. е. преодоление указанной в п. 1 проблемы и решение конкретных задач.
- 4 Общие положения, где указываются сроки и место испытаний, а также перечень ранее проведённых исследований.
- 5 Условия и порядок проведения испытаний (температура, влажность, уровень вибрации и т. п.).
- 6 Объём испытаний (перечень этапов и опытов, последовательность их проведения).
- 7 Отчётность (перечни документов и организаций для рассылки).

Методика испытаний – это организационно-методический документ, в котором описывают методы, средства и условия проведения измерительных и испытательных работ, предусмотренных программой испытаний, а также устанавливают порядок обработки и оценки результатов измерений, формы представления информации (табличная, графическая и т. п.), точность измерений, излагаются требования охраны труда.

Пример реальной заводской программы-методики испытаний представлен в приложении А.

2.3 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации, необходимо разработать и представить в отчёте программу-методику испытаний механизма (системы) машины по теме дипломного проекта.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура программы испытаний?
- 2 Какова структура методики испытаний?
- 3 Какой перечень испытательных документов предусмотрен?

3 Лабораторная работа № 3. Исследование разгона машины с гидромеханической передачей на моторно-динамическом стенде

Цель работы: изучение методики стендовых испытаний моторно-трансмиссионных установок самоходных машин.

3.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение моторно-трансмиссионного стенда.
- 3 Изучение измерительных цепей моторно-трансмиссионного стенда.
- 4 Получение навыков в управлении моторно-трансмиссионным стендом.
- 5 Снятие осциллограмм: угловой скорости двигателя, угловой скорости турбинного вала гидротрансформатора, угловой скорости вала тормоза стенда, положения рычага управления подачей топлива дизеля, тормозного момента.

3.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Моторно-трансмиссионный стенд № 1.
- 2 Характеристика моторно-трансмиссионного стенда № 1.

3.3 Основные положения

К стендовым испытаниям относят такие, которые проводят при неподвижной машине или её части на специальном (стендовом) оборудовании, представляющем собой стационарные технические устройства для воспроизведения внешних воздействий, которые могут быть в процессе эксплуатации машины, с целью получения информации о характеристиках и свойствах объекта испытаний.

Любой стенд предназначен для создания определённого режима испытаний, т. е. уровня, частоты и продолжительности воздействий.

Для исследования скоростных и некоторых других свойств машины применяют прямоточные тормозные стенды с моторно-трансмиссионными установками. Такой стенд состоит из рамы, на которой смонтированы двигатель, трансмиссия, маховые массы, имитирующие инерцию машины, тормоз-нагрузатель. В комплект стенда также входят: радиатор ДВС, теплообменник гидромеханической передачи, топливный бак, пульт управления, комплект датчиков и регистрирующая аппаратура.

Упрощённая схема прямоточного тормозного стенда для исследования динамики моторно-трансмиссионной установки изображена на рисунке 3.1.

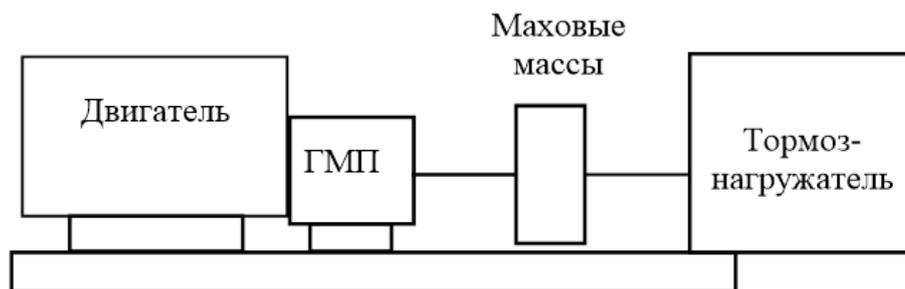


Рисунок 3.1 – Схема моторно-трансмиссионного стенда № 1

Требуемый режим испытаний задаётся с помощью скоростного режима двигателя, включения передачи и нагрузочного режима тормоза-нагрузателя, в качестве которого применяют:

- электробалансирную машину (МПБ), работающую в режиме генератора;
- электропорошковый тормоз (ПТ), представленный на рисунке 3.2;
- гидродинамический тормоз (опорожняемая гидромуфта с неподвижным турбинным колесом).

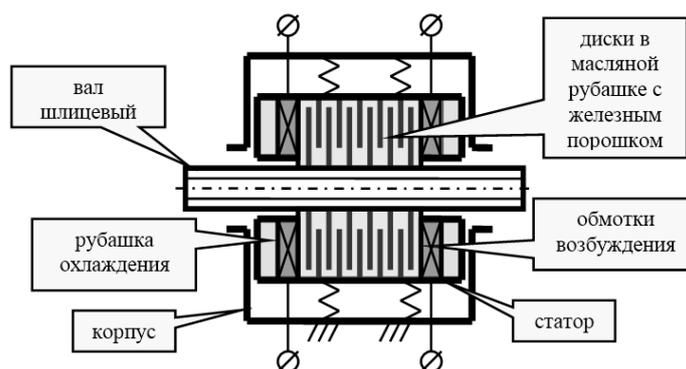


Рисунок 3.2 – Схема электропорошкового тормоза

Для определения требуемых характеристик стенд комплектуется измерительными цепями (схемами), каждая из которых содержит датчик, промежуточный преобразователь сигнала в виде аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и регистрирующее устройство (ЭВМ).

Для измерения нагрузочного крутящего момента на изучаемом стенде используется метод оценки реактивного момента тормоза. Данный метод получил широкое применение в стендовых испытаниях. Суть его в том, что статор нагружающего устройства, изображенного на рисунке 3.3, крепится к корпусу через упругий элемент (пружину, рессору и т. п.). При действии реактивного момента данный упругий элемент деформируется, что фиксирует датчик перемещений (индикатор часового типа и индуктивный датчик перемещений виброизмерительной аппаратуры ВИ6-6ТН).

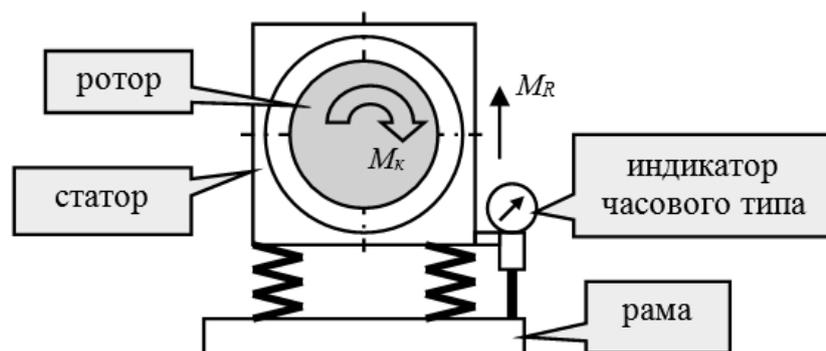


Рисунок 3.3 – Схема оценки тормозного момента с помощью реактивного

Изучаемый стенд, кроме штатных датчиков и приборов для контроля состояния двигателя и ГМП, содержит дополнительно:

- 1) три датчика угловых скоростей (тахогенераторы):
 - а) коленчатого вала двигателя ω_d ;
 - б) турбинного вала ГМП ω_m ;
 - в) вала электропорошкового тормоза ν_a ;
- 2) два индуктивных датчика перемещений ВИ6-6ТН:
 - а) положения рычага подачи топлива дизеля γ_d ;
 - б) реактивного момента тормоза M_R .

В качестве регистрирующего прибора используется ЭВМ с АЦП фирмы *L-Card* и программой (приложением) *LGraph 2*.

АЦП предназначен для работы ЭВМ в качестве управляющей и обеспечивает преобразование напряжения датчика в цифровой двоичный код.

3.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и моторно-динамический стенд № 1, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить:

- а) цель и задачи исследований;
- б) структурную схему моторно-динамического стенда № 1 со схемой расположения дополнительных датчиков.

2 Запустить дизель моторно-динамического стенда № 1. Для этого:

- а) проверить уровни масла в двигателе и ГМП (при необходимости долить);
- б) заполнить систему охлаждения стенда водой, открыв вентили (краники) под раковиной лаб. 116/3 и верхний краник стенда (около топливного бака) до истечения из него воды, не превышая давление в системе 0,5 атм;
- в) включить вилку пускового устройства в розетку 380 В и тумблер;
- г) рычаг управления подачей топлива повернуть в положение максимальной подачи (на себя);
- д) нажать на пульте управления и удерживать до начала работы дизеля красную кнопку включения стартера.

3 Прогреть 3 мин стенд на режиме холостого хода 1000 об/мин.

4 Включить:

- а) усилитель ВИБ-6ТН (внизу справа в пульте управления);
- б) управляющую ЭВМ и запустить программу *LGraph 2*.

5 Произвести имитацию разгона и торможения машины. Для этого:

- а) увеличить подачу топлива примерно до 1500 об/мин;
- б) включить первую передачу путём поворота серого маховичка командного устройства на пульте управления по часовой стрелке;
- в) после достижения 20 км/ч (по спидометру) включить вторую передачу (между передачами – нейтраль), а после 40 км/ч – третью;
- г) по достижении 50 км/ч заблокировать гидротрансформатор, нажав чёрную правую клавишу на пульте управления;
- д) нагрузить стенд, включив на пульте управления первую ступень блока питания порошкового тормоза и плавно повернув его чёрный маховичок на 1,5–3 оборота по часовой стрелке;
- е) после начала снижения скорости (по спидометру) разблокировать гидротрансформатор, переключиться на вторую, а затем первую передачу, в конце – на нейтральную.

6 Остановить программу, посмотреть полученные данные, распечатать их и привести в отчёте.

7 Заглушить дизель. Разгрузить тормоз. Слить воду из стенда.

8 Выключить пусковое устройство стенда и ЭВМ.

3.5 Меры безопасности

- 1 Испытательные работы проводить при достаточной вентиляции.
- 2 Запрещается находиться вблизи и в плоскости вращения маховых масс.
- 3 Для недопущения порчи тормоза запрещается включать вторую ступень блока питания.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура тормозного стенда?
- 2 Каковы конструкция и принцип работы электропорошкового тормоза?
- 3 Какова структура схемы измерений для регистрации положения рычага управления подачей топлива двигателя?
- 4 Как расшифровываются полученные осциллограммы?

4 Лабораторная работа № 4. Оценка тяговых характеристик машины на стенде с беговыми барабанами

Цель работы: изучение методики стендовых испытаний машины по определению её тяговых характеристик.

4.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение конструкции и характеристик стенда с беговыми барабанами.
- 3 Изучение измерительных цепей стенда с беговыми барабанами.
- 4 Получение практических навыков в управлении автомобилем ВАЗ-2105 и стендом с беговыми барабанами.
- 5 Определение с помощью осциллограмм характеристик машины: угловой скорости ведущего колеса, угловой скорости бегового барабана и силы тяги.

4.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Стенд с беговыми барабанами, ЭВМ с аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) и датчиками угловой скорости ведущего колеса испытываемой машины, угловой скорости бегового барабана и силы тяги.
- 2 Испытываемый автомобиль ВАЗ-2105.

4.3 Основные положения

К стендовым испытаниям относят такие, которые проводят при неподвижной машине на специальном (стендовом) оборудовании, представляющем собой стационарные технические устройства для воспроизведения внешних воздействий, которые могут быть в процессе эксплуатации машины, с целью получения информации о её характеристиках и свойствах.

Тяговые характеристики машины – зависимости силы тяги от скорости $F_k = f(v)$ и скольжения $F_k = f(s)$ – определяются на стенде с беговыми барабанами, схема которого представлена на рисунке 4.1.

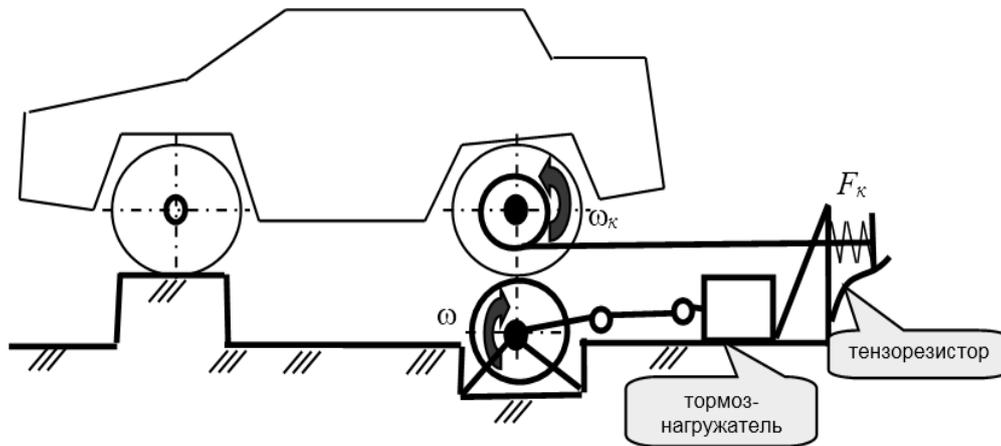


Рисунок 4.1 – Стенд с беговыми барабанами

Требуемый режим испытаний задаётся с помощью скоростного режима двигателя, передаточного числа трансмиссии испытываемой машины и нагрузочного режима тормоза-нагрузочного механизма стенда, в качестве которого применён электропорошковый тормоз ПТ-5М.

Для определения требуемых характеристик стенд комплектуется измерительными цепями (схемами), которые содержат:

- 1) два датчика угловых скоростей (тахогенераторы):
 - а) ведущего колеса испытываемой машины ω_k ;
 - б) бегового барабана $\omega_б$;
- 2) датчик силы тяги машины (тензорезистор) F_k .

Метод оценки сил через измерение деформаций деталей получил наибольшее применение при испытаниях машин. Так, при измерении силы тяги исследуемого автомобиля ВАЗ-2105 на стенде датчик (фольговый розеточный тензорезистор) наклеен на специальной пластине (тензобалочке), регистрирующей деформацию резиновых втулок тяг, которые крепят к раме стенда ведущий мост испытываемой машины.

В качестве регистрирующего прибора рассматриваемого стенда используется ЭВМ. Для согласования сигналов датчиков с компьютером применён АЦП фирмы *L-Card* с программой *LGraph 2*.

Нагрузочный режим на изучаемом стенде задаётся с помощью подачи определённого уровня напряжения от блока питания В-24 на тормоз-нагрузочный механизм ПТ-6.



Рисунок 4.2 – Общий вид стенда с беговыми барабанами

4.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и конструкцию стенда с беговыми барабанами, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить:

- а) цель и задачи исследований;
- б) структурную схему стенда с обозначением датчиков.

2 Запустить двигатель исследуемой машины ВАЗ-2105. Для этого:

а) проверить уровни масла и охлаждающей жидкости в радиаторе двигателя и бачке охлаждения тормоза (при необходимости долить);

б) включить вилку пускового устройства в розетку 380 В (сзади испытываемого автомобиля) и левый тумблер на пусковом устройстве (под радиатором машины);

в) сесть на сиденье водителя, вытянуть кнопку управления воздушной заслонки и повернуть ключ в замке зажигания по часовой стрелке, удерживая его в положении «Стартер» до запуска мотора.

3 Прогреть 2 мин двигатель на частоте около 2000 об/мин.

4 Включить ЭВМ и запустить программу *LGraph 2*.

5 Разогнать стенд на первой передаче. Для этого:

а) нажать правой ногой на педаль управления подачей топлива (педаль «газа» – крайняя правая) до частоты вращения вала двигателя 1200 об/мин;

б) левой ногой до упора нажать педаль управления сцеплением (крайняя левая);

в) правой рукой включить первую передачу путём наклона рычага переключения передач к сиденью водителя, а затем наклона вперёд до упора;

г) плавно отпустить педаль сцепления.

6 Задать переменный режим испытаний путём увеличения до 1200 об/мин и уменьшения до 1000 об/мин нажатия на педаль «газа» и одновременно с этим нагрузить стенд, включив блок питания В-24 порошкового тормоза-

нагрузателя и поворачивая его маховичок то по часовой стрелке, то против, обеспечивая скольжение ведущих колёс по барабанам.

7 Получив осциллограмму переходных процессов, выключить передачу, заглушить двигатель, разгрузить тормоз-нагрузатель стенда, выключить пусковое устройство и блок питания тормоза.

8 Остановить программу *LGraph 2*.

9 Проанализировать осциллограмму, т. е. для 30–40 точек определить и занести в таблицу 4.1 силу тяги F_k и угловые скорости ω_k и ω_b при разных скольжениях s (буксовании и юзе) ведущего колеса по беговому барабану, а используя следующие формулы, пронормировать полученные значения угловых скоростей:

– буксование имеет место при $\omega_k^* > \omega_b^*$:

$$s = \frac{\omega_k^* - \omega_b^*}{\omega_k^*}; \quad (4.1)$$

– юз имеет место при $\omega_k^* < \omega_b^*$:

$$s = \frac{\omega_b^* - \omega_k^*}{\omega_b^*}, \quad (4.2)$$

где ω^* – нормированное значений угловой скорости колеса и барабана,

$$\omega^* = (\omega - \omega^{\min}) / (\omega^{\max} - \omega^{\min}); \quad (4.3)$$

ω – текущее ненормированное значение угловой скорости колеса и барабана;

ω^{\max} , ω^{\min} – максимальное и минимальное значения угловой скорости из всех выбранных для колеса и барабана.

Таблица 4.1 – Исходная информация

Номер точки	ω_k	ω_k^*	ω_b	ω_b^*	s	F_k	F_k^*
1							
2							
...							

10 Пронормировать F_k и занести в таблицу 4.1:

$$F_k^* = (F_k - F_k^{\min}) / (F_k^{\max} - F_k^{\min}). \quad (4.4)$$

11 Сгруппировать данные таблицы 4.1, округляя скольжение с точностью до 0,1, и занести полученные данные в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Финишная информация

s	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
F_k^*											
$F_{к.ср}^*$											
σF											
a_F											

12 Оценить доверительный интервал для каждой точки скольжения, используя методику, отражённую в лабораторной работе № 1, и результаты занести в таблицу 4.2, по результатам которой построить график $F_{к.ср}^* = f(s)$ с обозначением границ доверительного интервала.

13 Выключить ЭВМ.

4.5 Меры безопасности

- 1 Испытательные работы проводить при достаточной вентиляции.
- 2 При работе стенда не находиться вблизи беговых барабанов.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура стенда с беговыми барабанами?
- 2 Каковы конструкция и принцип работы электропорошкового тормоза?
- 3 Каков состав измерительной схемы для регистрации силы тяги машины?
- 4 Каковы скоростные характеристики машины?

5 Лабораторная работа № 5. Снятие скоростных характеристик дизеля

Цель работы: изучение методики стендовых испытаний дизеля по определению его скоростных характеристик.

5.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение методических рекомендаций.
- 2 Изучение моторно-трансмиссионного стенда.
- 3 Получение навыков в управлении моторно-трансмиссионным стендом.

4 Определение крутящего момента и мощности дизеля в зависимости от угловой скорости его вала и положения рычага подачи топлива: $M_{\partial} = f(\omega_{\partial}; \gamma_{\partial})$; $N_{\partial} = f(\omega_{\partial}; \gamma_{\partial})$.

5.2 Оборудование, инструменты, материалы

1 Моторно-трансмиссионный стенд № 1.

2 Характеристика моторно-трансмиссионного стенда № 1.

5.3 Основные положения

Различают три вида выходных характеристик ДВС:

1) скоростные, когда аргументом является частота вращения коленчатого вала n_{∂} или его угловая скорость ω_{∂} , а функциями – крутящий момент на маховике M_{∂} , мощность N_{∂} , часовой расход топлива G_m и др.;

2) нагрузочные, когда аргументом является среднее эффективное давление p_e в цилиндрах двигателя или его мощность N_{∂} ;

3) регулировочные, когда в качестве аргумента используется какой-либо регулируемый параметр, например угол опережения впрыска топлива θ_n .

Если скоростная характеристика двигателя, например $M_{\partial} = f(\omega_{\partial})$, определяется при максимальной нажатии на рычаг управления подачей топлива ($\gamma_{\partial} = 1$, т. е. 100 %) и неработающем регуляторе цикловой подачи топлива, то такую характеристику называют внешней скоростной. Если же скоростные характеристики получают при работе регулятора и $\gamma_{\partial} = 1$, то их называют предельными регуляторными. В противном случае, т. е. при $\gamma_{\partial} < 1$, характеристики называются частичными.

Характерными точками скоростных характеристик мотора являются:

1) минимальная угловая скорость вала на холостом ходу $\omega_{x.x}^{\min}$;

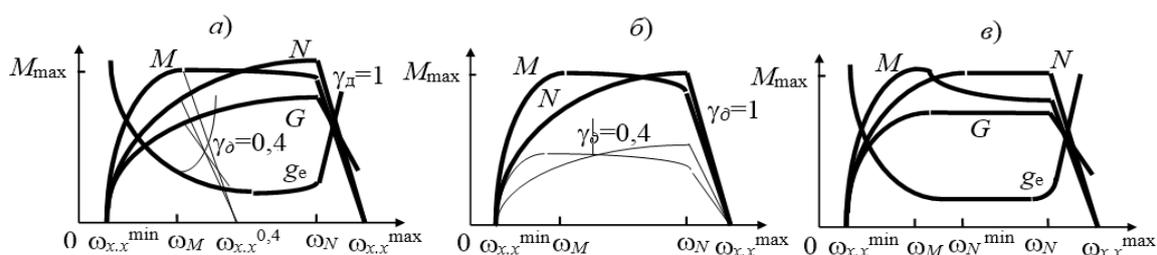
2) максимальная угловая скорость вала на холостом ходу $\omega_{x.x}^{\max}$;

3) угловая скорость ω_M , при которой достигается максимальный крутящий момент M_{\max} ;

4) номинальная угловая скорость ω_N , при которой имеет место номинальная мощность N_N и момент M_N ;

5) угловая скорость ω_g , когда имеет место минимальный удельный расход топлива g_e^{\min} .

В зависимости от регулятора цикловой подачи топлива различают характеристики дизелей: со всережимным регулятором (ВРД) (рисунок 5.1, а); с двухрежимным регулятором (2РД) (рисунок 5.1, б); с многорежимным регулятором (рисунок 5.1, в), например двигатель постоянной мощности (ДПМ).



a – всережимный; *б* – двухрежимный; *в* – ДПМ

Рисунок 5.1 – Скоростные характеристики дизелей

Для определения (снятия) характеристик ДВС применяют тормозные стэнды. Основными элементами такого стэнда являются:

- опорная рама с кронштейнами для крепления механизмов;
- испытываемый двигатель с радиатором и топливным баком;
- тормоз-нагружатель;
- соединительный вал с муфтами;
- пульт управления с контрольными приборами.

Однако моторно-трансмиссионный стэнд № 1 предназначен не только для испытаний двигателя, но и трансмиссии, а также динамических характеристик машины. Поэтому в своём составе, кроме указанных элементов, имеет гидромеханическую коробку передач и маховые массы с кинетической энергией, эквивалентной 9 т поступательно движущейся массы.

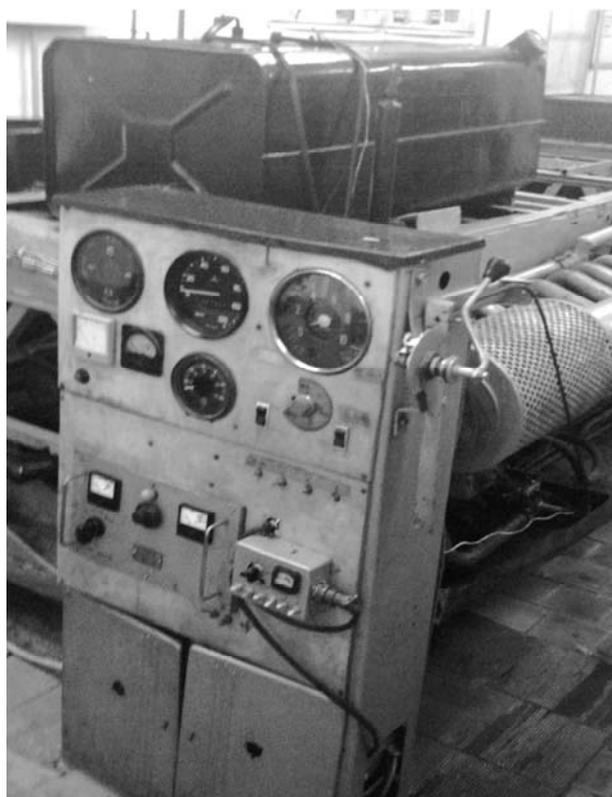


Рисунок 5.2 – Общий вид моторно-трансмиссионного стэнда № 1

Требуемый режим испытаний мотора на стенде задаётся с помощью скоростного режима двигателя, включения заданной передачи, блокировки гидротрансформатора и нагрузочного режима тормоза-нагрузателя, в качестве которого применён электропорошковый тормоз ПТ-250.

Для измерения нагрузочного крутящего момента на изучаемом стенде используется метод оценки реактивного момента тормоза, изложенный в лабораторной работе № 3.

5.4 Методика проведения работ

Изучив методические рекомендации и моторно-трансмиссионный стенд № 1, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить:

- а) цель и задачи исследований;
- б) структурную схему тормозного стенда для снятия характеристик дизеля.

2 Запустить двигатель моторно-трансмиссионного стенда № 1. Для этого:

- а) проверить уровни масла в моторе и ГМП (при необходимости долить);
- б) заполнить систему охлаждения стенда водой, открыв нижний ventиль (кран) под раковиной лаб. 116/3 и верхние ventили стенда около пульта управления и радиатора до начала истечения из них воды, не превышая давление в системе 0,2 атм;
- в) включить вилку пускового устройства в розетку 380 В и тумблер;
- г) рычаг управления подачей топлива повернуть в положение максимальной подачи (на себя);
- д) нажать на пульте управления и удерживать до начала работы дизеля красную кнопку включения стартера.

3 Прогреть дизель на режиме холостого хода 1000 об/мин.

4 Вывести стенд на заданный преподавателем режим. Для этого:

- а) увеличить подачу топлива до 1500 об/мин;
- б) включить первую передачу путём поворота по часовой стрелке серого маховичка командного устройства ГМП на пульте управления;
- в) по достижении 20 км/ч включить вторую передачу;
- г) после достижения 1400 об/мин заблокировать гидротрансформатор, нажав на чёрный правый тумблер на пульте управления.

5 Не изменяя положения рычага подачи топлива, нагружать стенд, включив на пульте управления первую ступень блока питания порошкового тормоза и плавно поворачивая его чёрный маховичок по часовой стрелке до уменьшения частоты вращения вала дизеля на 50 об/мин, отмечая при этом в отчёте показания индикатора часового типа тормоза.

6 Получив (сняв) таким образом несколько точек скоростной характеристики дизеля, разблокировать гидротрансформатор, переключиться на

первую передачу, а затем на нейтральную, заглушить дизель, выключить пусковое устройство и слить воду из стенда.

7 По полученным данным построить в отчёте скоростные характеристики исследуемого дизеля $M_d = f(\omega_d)$, $N_d = f(\omega_d)$ для данной γ_d и определить доверительные интервалы полученных зависимостей.

5.5 Меры безопасности

- 1 Испытательные работы проводить при достаточной вентиляции.
- 2 Запрещается находиться вблизи и в плоскости вращения маховых масс.
- 3 Для недопущения порчи тормоза запрещается включать вторую ступень блока питания.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура тормозного стенда для снятия характеристик мотора?
- 2 Каковы конструкция и принцип работы электропорошкового тормоза?
- 3 Какова методика оценки нагрузочного момента с помощью реактивного?
- 4 Каковы особенности скоростной характеристики дизелей?
- 5 В чем состоит методика снятия скоростных характеристик ДВС?

6 Лабораторная работа № 6. Определение характеристик гидротрансформатора

Цель работы: изучение методики стендовых испытаний гидродинамического трансформатора (ГДТ) по определению его безразмерных характеристик.

6.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение методических рекомендаций.
- 2 Изучение моторно-трансмиссионного стенда.
- 3 Получение навыков управления моторно-трансмиссионным стендом.
- 4 Определение безразмерных характеристик гидротрансформатора.

6.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Моторно-трансмиссионный стенд № 1.
- 2 Характеристика моторно-трансмиссионного стенда № 1.

6.3 Основные положения

Для облегчения управления самоходной машиной применяют гидромеханическую трансмиссию (ГМТ). В качестве одного из элементов такой трансмиссии, автоматически преобразующего крутящий момент, является гидродинамический трансформатор. Его работа основана на двойном преобразовании энергии – сначала кинетическая энергия вращающегося насосного лопастного колеса преобразуется в кинетическую энергию жидкости, т. е. в её скоростной напор $v^2/2g$, а затем этот напор преобразуется в кинетическую энергию турбинного колеса. В реакторном лопастном колесе жидкость изменяет своё направление. Все преобразующие свойства ГДТ связаны с изменением расхода жидкости Q в его меридиальной (продольной) плоскости.

Крутящий момент на насосном колесе гидротрансформатора, который нагружает двигатель, определяется по выражению

$$M_n = \rho \lambda_n D_a^5 \omega_n^2, \quad (6.1)$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, $\rho = 960 \text{ кг/м}^3$;

λ_n – коэффициент момента насосного колеса, определяемый при испытаниях и показывающий нагружающие свойства ГДТ;

D_a – наибольший активный (внутренний) диаметр рабочей полости ГДТ (в ЛАЗ-НАМИ-035 установлен ГДТ ЛГ-370, у которого $D_a = 0,37 \text{ м}$);

ω_n – угловая скорость насосного колеса гидротрансформатора.

Крутящий момент на турбинном колесе ГДТ оценивается как

$$M_m = KM_n, \quad (6.2)$$

где K – коэффициент трансформации крутящего момента, показывающий преобразующие свойства ГДТ и определяемый при испытаниях.

КПД гидротрансформатора получают из соотношения

$$h_{mn} = N_m / N_n = \omega_m M_m / (\omega_n M_n) = i_{mn} K, \quad (6.3)$$

где N_m, N_n – мощность на турбинном и насосном колёсах;

ω_m – угловая скорость турбинного колеса;

i_{mn} – передаточное отношение ГДТ, $i_{mn} = \omega_m / \omega_n$.

Безразмерными характеристиками ГДТ называют зависимости λ_n, K и η_{mn} от i_{mn} . Для наиболее типичного автотракторного ГДТ эти характеристики показаны на рисунке 6.1.

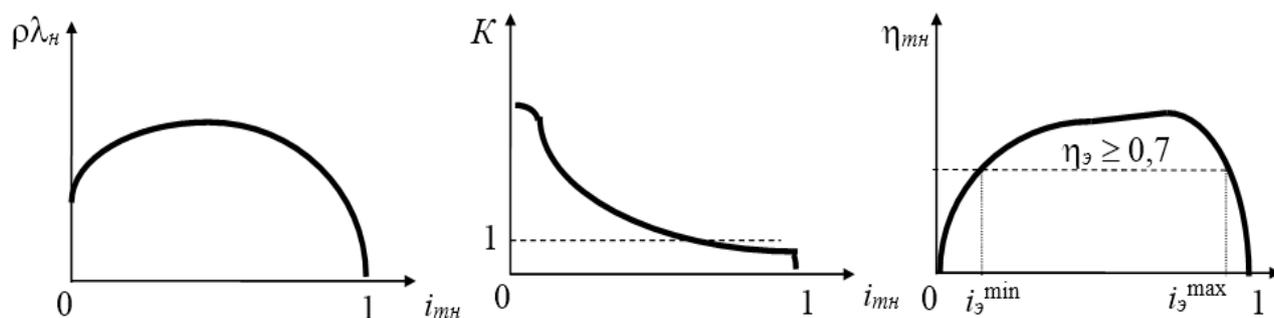


Рисунок 6.1 – Безразмерные характеристики гидротрансформатора

Для определения (снятия) характеристик гидротрансформаторов применяют тормозные стенды. Основными элементами такого стенда являются: опорная рама с кронштейнами для крепления механизмов; приводной двигатель (ДВС или электродвигатель); испытываемый ГДТ; тормоз-нагрузатель; соединительные валы с муфтами; пульт управления с контрольными приборами.

Требуемый режим испытаний задаётся с помощью скоростного режима двигателя и нагрузочного режима тормоза-нагрузателя, в качестве которого на данном стенде применён электропорошковый тормоз ПТ-250.

Для измерения нагрузочного крутящего момента на изучаемом стенде используется метод оценки реактивного момента тормоза (см. лабораторную работу № 3).

Методика испытаний гидродинамических машин регламентирована ГОСТ 12118–75 и ГОСТ 17069–71, согласно которым характеристики ГДТ снимают либо при $\omega_n = \text{const}$, либо при $M_n = \text{const}$.

Суть методики испытаний ГДТ заключается в ступенчатом нагружении турбинного вала, поддержании постоянной угловой скорости насосного вала ω_n и определении на каждой ступени нагружения M_n , M_m и ω_m . Затем расчётным путём получают

$$i_{mn} = \frac{n_m}{n_n}; \quad (6.4)$$

$$K = \frac{M_m}{M_\delta}; \quad (6.5)$$

$$\rho\lambda_n = \frac{M_n}{\omega_n^2 D_a^5}; \quad (6.6)$$

$$\eta_{mn} = K i_{mn}. \quad (6.7)$$

При снятии характеристик ГДТ необходимо использовать таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Номер точки		1	2	3	4	5
Положение рычага подачи топлива γ_0	град					
	$\gamma_{0.от}$					
Частота вращения вала двигателя n_0	об/мин					
	$n_{0.от}$					
Угловая скорость насоса ГДТ ω_n , рад/с						
Крутящий момент двигателя M_0 , кгс·м						
Крутящий момент насоса ГДТ M_n , Н·м						
Крутящий момент тормоза M_m	мм					
	кгс·м					
Скорость машины v_a , км/ч						
Частота вращения турбины ГДТ n_m , об/мин						

6.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и моторно-трансмиссионный стенд № 1, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия:

1 В отчёте по данной работе отразить:

- а) цель и задачи исследований;
- б) структурную схему стенда для испытаний ГМП.

2 Запустить дизель моторно-трансмиссионного стенда № 1. Для этого:

- а) проверить уровни масла в двигателе и ГМП (при необходимости долить);
- б) заполнить систему охлаждения стенда водой, открыв нижний правый вентиль (кран) под раковиной лаб. 116/3 и верхние краники стенда около пульта управления и радиатора до начала истечения из них воды;
- в) включить вилку пускового устройства в розетку 380 В и тумблер;
- г) рычаг управления топливом повернуть в положение максимальной подачи (на себя);
- д) нажать на пульте управления и удерживать до начала работы дизеля красную кнопку включения стартера.

3 Прогреть дизель на режиме холостого хода 1000 об/мин.

4 Вывести стенд на режим начала испытаний ГДТ. Для этого:

- а) увеличить подачу топлива до 1500 об/мин;
- б) включить первую передачу путём поворота по часовой стрелке серого маховичка командного устройства ГМП на пульте управления;

в) по достижении 20 км/ч включить вторую передачу и с помощью рычага подачи топлива разогнать стенд до 1500 об/мин;

г) занести в таблицу отчёта показания γ_{∂} , град; n_{∂} , об/мин; M_m , мм; v_a , км/ч, для первой точки характеристики ГДТ.

5 Нагрузить стенд, включив на пульте управления первую ступень блока питания ВСА порошкового тормоза-нагрузителя и плавно поворачивая чёрный маховичок по часовой стрелке до уменьшения скорости v_a на 5...10 км/ч, а с помощью рычага подачи топлива поддерживая прежнюю частоту вращения вала дизеля. Занести в таблицу отчёта показания γ_{∂} , град; n_{∂} , об/мин; M_m , мм; v_a , км/ч.

6 Получив (сняв) несколько точек характеристик ГДТ, разгрузить тормоз-нагрузитель, переключиться на первую передачу, а затем на нейтральную, заглушить дизель, отключить пусковое устройство и слить воду из стенда.

7 Заполнить пустые графы таблицы. При этом значение момента тормоза-нагрузителя по индикатору в миллиметрах для точки № 1 соответствует нулевой нагрузке (1 кгс·м тормоза = 0,02 мм показаний индикатора).

Крутящий момент двигателя вычисляют по зависимости

$$M_{\partial} = 100\gamma_{\partial.om} / n_{\partial.om}, \quad (6.8)$$

где $\gamma_{\partial.om}$ – относительное текущее положение рычага подачи топлива,

$$\gamma_{\partial.om} = \frac{\gamma_{\partial} - 8^{\circ}}{53^{\circ} - 8^{\circ}}; \quad (6.9)$$

$n_{\partial.om}$ – относительная частота вращения вала двигателя,

$$n_{\partial.om} = \frac{n_{\partial} - 500}{2000}. \quad (6.10)$$

Частоту вращения турбинного вала ГДТ получают по формуле

$$n_m = 2,46v_a u_{kn} u_o / r_k, \quad (6.11)$$

где u_{kn} – передаточное число передачи, на которой проводились испытания (по характеристике моторно-динамического стенда № 1);

u_o – передаточное число главной передачи, $u_o = 6,551$;

r_k – радиус ведущего колеса, $r_k = 0,54$.

После заполнения таблицы необходимо в отчёте построить рисунок с двумя графиками:

1) зависимость крутящего момента на турбине ГДТ в функции от частоты вращения турбины: $M_m = f(n_m)$;

2) зависимость крутящего момента на маховике дизеля от частоты вращения турбины ГДТ: $M_d = f(n_m)$.

На следующем рисунке построить безразмерные характеристики испытываемого ГДТ. Для этого вначале следует оформить таблицу (таблица 6.2), содержащую необходимую расчётную информацию.

Таблица 6.2 – Безразмерные характеристики ГДТ

Номер точки	1	2	3	4	5
i_{mn}					
K					
$\rho\lambda_n$					
η_{mn}					

6.5 Меры безопасности

- 1 Испытательные работы проводить при достаточной вентиляции.
- 2 Запрещается находиться вблизи и в плоскости вращения маховых масс.
- 3 Для недопущения порчи тормоза запрещается включать вторую ступень блока питания.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура стенда для испытания ГДТ?
- 2 Каковы конструкция и принцип работы электропорошкового тормоза?
- 3 В чем состоит суть метода оценки нагрузочного момента с помощью реактивного?
- 4 Какие безразмерные характеристики ГДТ известны?
- 5 В чем состоит методика снятия характеристик ГДТ?

7 Лабораторная работа № 7. Снятие характеристик всережимного регулятора ТНВД дизеля

Цель работы: изучение методики стендовых испытаний топливного насоса высокого давления (ТНВД) дизеля по определению характеристик его регулятора.

7.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение стенда для испытаний топливной аппаратуры дизелей КИ-921.
- 3 Получение практических навыков в управлении стендом КИ-921.
- 4 Определение характеристик регулятора цикловой подачи топлива ТНВД.

7.2 Оборудование, инструменты, материалы

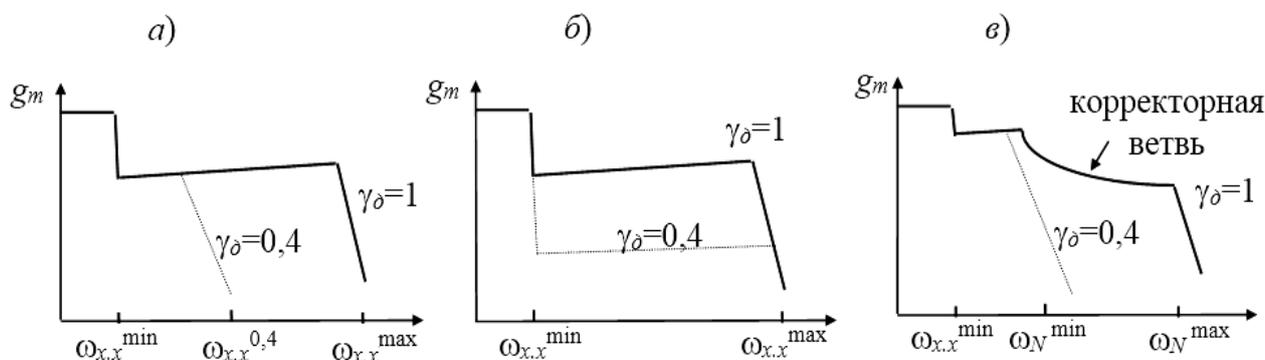
- 1 Стенд для испытаний топливной аппаратуры дизелей КИ-921.
- 2 ТНВД УТН-5 с транспортиром положения рычага подачи топлива.
- 3 Штангенциркуль ШЦ-125 с глубиномером.

7.3 Основные положения

Любой стенд предназначен для создания определённого режима испытаний, т. е. совокупности факторов, воздействующих на испытываемый объект. Режим испытаний определяет уровень, частоту, продолжительность воздействий и другие условия, например, температуру среды, её запылённость и т. п.

Стенд КИ-921 предназначен для испытания и регулировки топливных насосов высокого давления, форсунок, муфт опережения впрыска и подкачивающих насосов дизелей. Привод ТНВД на данном стенде осуществляется от асинхронного электродвигателя мощностью 3 кВт через клиноременной вариатор, управление которым осуществляется маховиком, расположенным на передней стенке стенда. Там же находятся кнопки включения и отключения электродвигателя (слева) и насоса (справа).

Вид скоростных характеристик ДВС определяется цикловыми подачами топлива g_m на каждом режиме с помощью регулятора. На рисунке 7.1 представлены типичные характеристики топливных насосов дизелей.



a – всережимный; *б* – двухрежимный; *в* – ДПМ

Рисунок 7.1 – Скоростные характеристики цикловых подач ДВС

При падении угловой скорости ниже $\omega_{x,x}^{\min}$ во всех регуляторах вступает в действие пусковой обогатитель, который увеличивает g_m в 1,5–2 раза. Некоторое увеличение цикловых подач на внешней скоростной характеристике с ростом ω_δ связано с уменьшением относительных утечек.

Многорежимное регулирование обеспечивается применением различных корректоров в механическом регуляторе цикловых подач топлива. Это

позволяет получить желаемые характеристики, например постоянную мощность (ДПМ) в широком диапазоне угловых скоростей коленчатого вала – от ω_N^{\min} до ω_N^{\max} (см. рисунок 7.1, в). В этом случае характеристики ДВС приближаются к характеристикам «идеальной машины», т. е. вне зависимости от нагрузочного режима мощность двигателя неизменна.

Ещё одним положительным свойством ДПМ является то, что он имеет в широком диапазоне уровень минимальных удельных расходов топлива g_e^{\min} . Однако тепловая нагруженность ДПМ выше по сравнению с обычным дизелем.

Упрощённая схема механического всережимного регулятора цикловой подачи топлива приведена на рисунке 7.2.

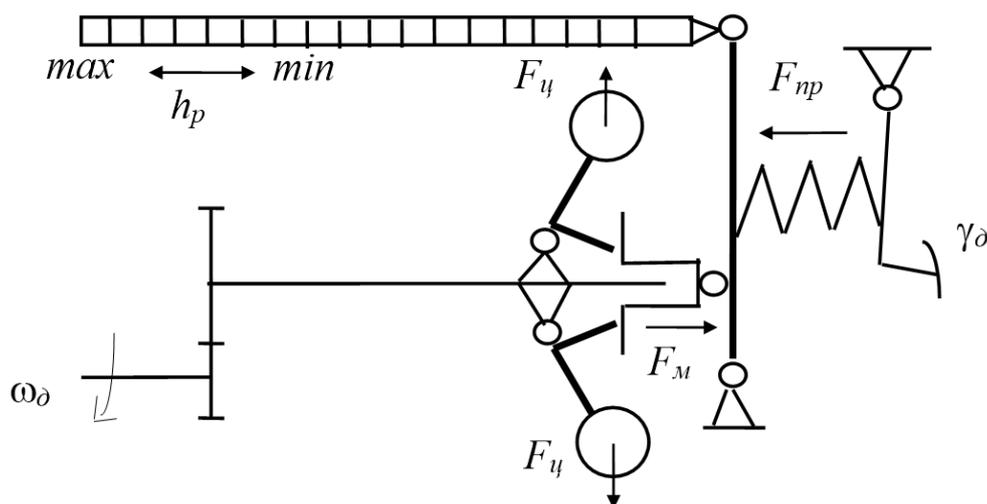


Рисунок 7.2 – Схема всережимного регулятора цикловой подачи топлива g_m

Основные элементы регулятора: вращающиеся на кулачковом или ином валу ТНВД грузы; муфта центробежного датчика; суммирующий усилия рычаг; пружина и рычаг (педаль) управления подачей топлива; зубчатая рейка или штанга поворота плунжеров.

Основной задачей данной лабораторной работы является получение зависимости положения рейки ТНВД от частоты вращения вала двигателя и положения рычага управления подачей топлива: $h_p = f(n_\delta; \gamma_\delta)$. Ещё одной важной задачей является оценка доверительного интервала данной характеристики.

7.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и стенд КИ-921, с разрешения и под наблюдением преподавателя выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить цель и задачи исследований, а также схемы всережимного регулятора ТНВД дизеля и стенда для испытаний топливной аппаратуры дизелей.

2 Включить электродвигатель стенда, нажав на среднюю кнопку пульта, и маховиком управления вариатора, вращая против часовой стрелки, установить минимальную частоту вращения. Отметить в отчёте эти показания.

3 Установить минимальную подачу топлива γ_{\min} и зафиксировать рычаг гайкой.

4 Измерить глубиномером штангенциркуля расстояние от торца рейки ТНВД до крышки регулятора. Отметить в отчёте эти показания.

5 Увеличивая частоту вращения вала стенда до максимальной, измерять положения рейки ТНВД. Полученные значения частоты вращения и положения рейки заносить в отчёт.

6 Получив (сняв), таким образом, 5–6 точек характеристики, уменьшить частоту вращения до минимальной, изменить положение рычага управления подачей топлива в направлении γ_{\max} , зафиксировав гайкой, и повторить пп. 4–5.

7 Не менее трёх раз выполнить пп. 4–7 при тех же условиях.

8 Построить характеристики положения рейки ТНВД от частоты вращения вала двигателя и положения рычага управления подачей топлива:

$$h_p = f(n_d; \gamma_{d.om}), \quad (7.1)$$

где $\gamma_{d.om}$ – относительное текущее положение рычага подачи топлива,

$$\gamma_{d.om} = \frac{\gamma_d - \gamma_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}. \quad (7.2)$$

9 Определить доверительные интервалы и нанести их на характеристики.

7.5 Меры безопасности

1 Не прикасаться к вращающейся муфте стенда.

2 Запрещается находиться в плоскости вращения центробежных грузов.

Контрольные вопросы

1 Каковы структура и принцип работы стенда для испытаний ТНВД?

2 Что показывает доверительный интервал измерений?

3 Каковы основные скоростные характеристики дизелей?

4 В чем состоит методика снятия характеристик ТНВД?

5 Каковы структура и принцип работы механического регулятора дизеля?

8 Лабораторная работа № 8. Определение характеристик амортизатора и рессоры подвески

Цель работы: изучение методик стендовых испытаний упругих и диссипативных элементов подвесок.

8.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение конструкций стендов для испытаний амортизаторов и рессор.
- 3 Получение практических навыков в управлении стендами по испытанию амортизаторов и рессор.
- 4 Определение характеристик амортизатора и рессоры.

8.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Стенд для испытаний амортизаторов с секундомером.
- 2 Стенд для испытаний рессор с насосом и манометром.

8.3 Основные положения

Многие показатели любой самоходной машины (производительность, экономичность, надёжность, долговечность и др.) зависят от плавности хода, которая во многом определяется характеристиками подвески.

Подвеска машины – это совокупность устройств, обеспечивающих связь движителя (колёсного или гусеничного) с несущей системой (рамой или кузовом).

Назначение подвески – уменьшать вертикальные динамические нагрузки. Все остальные силы (продольные и поперечные) передаются через детали подвески либо напрямую, либо с незначительным изменением.

Основной характеристикой упругого элемента является его коэффициент жёсткости, который по закону Гука определяется как отношение приращения силового фактора, действующего на упругий элемент (силы или момента), к приращению деформации (линейной или угловой).

Для рессоры, т. е. упругой балки, работающей на изгиб, коэффициент жёсткости оценивается по зависимости

$$c = dF / df, \quad (8.1)$$

где dF – приращение силы, изгибающей рессору (пружину);

df – приращение деформации рессоры (пружины).

Для упругих элементов, работающих на кручение, – торсиона – коэффициент жёсткости определяют по выражению

$$c = dM / d\alpha, \quad (8.2)$$

где dM – приращение момента, закручивающего торсион;
 $d\alpha$ – приращение угла закручивания торсиона.

Для определения коэффициента жёсткости рессоры используют стенд, схема которого изображена на рисунке 8.1.

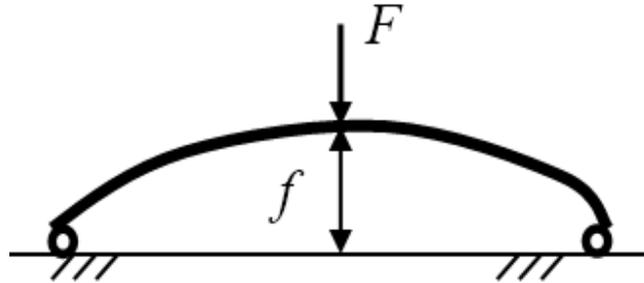


Рисунок 8.1 – Схема стенда для испытания рессор

Сила сопротивления гидравлического амортизатора (диссипативная сила) определяется зависимостью

$$F_{ам} = k_{ам} v_{ам}^n, \quad (8.3)$$

где $k_{ам}$ – коэффициент сопротивления амортизатора;

$v_{ам}$ – скорость перемещения штока амортизатора, м/с;

n – показатель степени, зависящий от $v_{ам}$, размеров дросселей и вязкости рабочей жидкости (обычно принимают $n = 1$).

Схема стенда для испытаний амортизаторов приведена на рисунке 8.2.

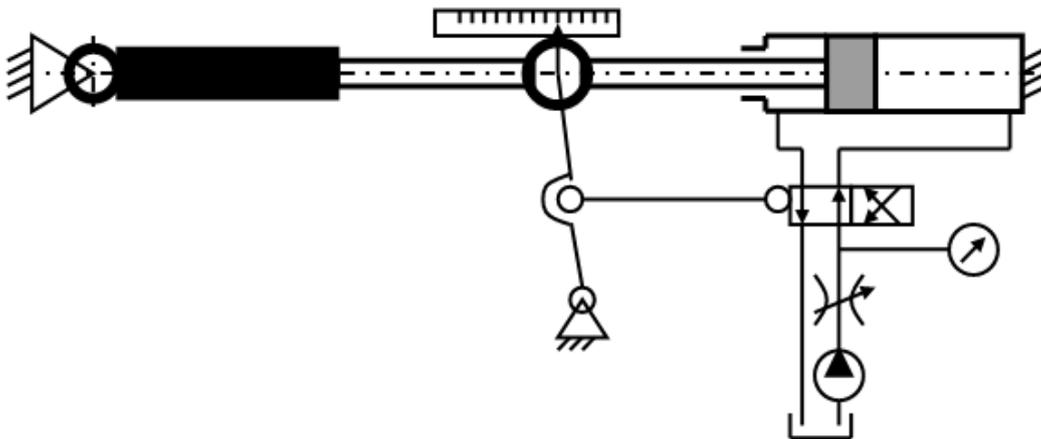


Рисунок 8.2 – Схема стенда для испытаний амортизаторов

8.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и конструкции стендов для испытаний амортизаторов и рессор, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить цель и задачи исследований, а также схемы испытательных стендов.

2 Подключить насос с манометром к штуцеру гидроцилиндра стенда для испытания рессор.

3 Измерить расстояние от коренного листа рессоры до рамы стенда, а также диаметр поршня гидроцилиндра стенда. Отметить в отчёте эти показания.

4 Последовательно, создавая насосом определённый уровень давления (не менее трёх опытов, т. е. $n \geq 3$), измерять деформации рессоры и отметить в отчёте эти показания.

5 Вычислить коэффициенты жёсткости рессоры ($c = \Delta F / \Delta f$) и построить график зависимости приращения силы к приращению деформации.

6 Оценить доверительный интервал полученной характеристики по методике, описанной в лабораторной работе № 1.

7 Измерить диаметр штока и поршня исполнительного гидроцилиндра стенда для испытания амортизаторов. Отметить в отчёте эти показания.

8 Включить стенд для испытания амортизаторов, для чего вставить вилку стенда в розетку 380 В, открыть крышку автомата отключения и включить его (вверх), нажать зелёную кнопку «Пуск».

9 С помощью регулятора расхода рабочей жидкости последовательно задать 3–4 скоростных режима, определяя секундомером длительности перемещений (по линейке) штока при сжатии и отбое амортизатора, а с помощью манометра фиксировать максимальные давления при сжатии и отбое. Отметить в отчёте эти показания.

10 Вычислить скорости и силы сопротивлений испытываемого амортизатора при ходе сжатия и отбоя для каждого скоростного режима. Отметить в отчёте эти показания.

11 Построить в отчёте характеристику испытываемого амортизатора и определить доверительный интервал этой характеристики.

8.5 Меры безопасности

1 Осторожно включать и выключать стенд для испытаний амортизаторов.

2 Переключение режимов работы стенда для испытаний амортизаторов (сжатие/отбой) производить резким движением, т. е. не задерживая рычаг в среднем положении.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура стенда для испытания рессор?
- 2 Какова структура стенда для испытания амортизаторов?
- 3 Какую методику оценки доверительного интервала применяют в работе?

9 Лабораторная работа № 9. Определение характеристик двигателя с принудительным воспламенением

Цель работы: изучение методики стендовых испытаний двигателя с принудительным воспламенением и распределённым впрыском бензина по определению скоростных характеристик.

9.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение структуры и характеристики стенда для испытаний моторно-трансмиссионных установок самоходных машин, получение практических навыков в управлении моторно-трансмиссионным стендом.
- 3 Определение зависимости крутящего момента и мощности двигателя от угловой скорости его вала и положения рычага подачи топлива: $M_{\partial} = f(\omega_{\partial}; \gamma_{\partial})$; $N_{\partial} = f(\omega_{\partial}; \gamma_{\partial})$.

9.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Моторно-трансмиссионный стенд № 2 с двигателем ВАЗ-2112, механической трансмиссией ВАЗ-21083 и электропорошковыми тормозами ПТ-5М.
- 2 Блоки питания В-24.
- 3 Пусковое устройство.
- 4 Пульт управления.

9.3 Основные положения

Скоростные характеристики двигателя – это зависимости момента M_{∂} на маховике, мощности N_{∂} , часового расхода топлива G_m и др. от частоты вращения вала мотора n_{∂} (угловой скорости ω_{∂}) при определённом положении рычага управления подачей топлива γ_{∂} .

Если скоростные характеристики двигателя определяются при положении рычага управления подачей топлива γ_{∂} , соответствующей максимальной подаче ($\gamma_{\partial} = 1$ или 100 %), то такую характеристику называют «внешней скоростной». В противном случае, т. е. при $\gamma_{\partial} < 1$, характеристики называются «частичными».

Для определения (снятия) характеристик двигателей применяют тормозные стенды. Основными элементами такого стенда, представленного на рисунке 9.1, являются: опорная рама с кронштейнами для крепления механизмов; испытываемый двигатель с радиатором, расширительным бачком и топливным баком; тормоз-нагрузатель; соединительные валы с муфтами; пульт управления с контрольными приборами. Однако моторно-трансмиссионный стенд № 2 предназначен не только для испытаний двигателя, но и трансмиссии, поэтому имеет два тормоза-нагрузателя, присоединённых к приводным валам. При снятии характеристик мотора следует задавать с помощью блоков питания В-24 одинаковые тормозные моменты на указанных приводных валах. Этим моделируется на стенде прямолинейное движение машины.

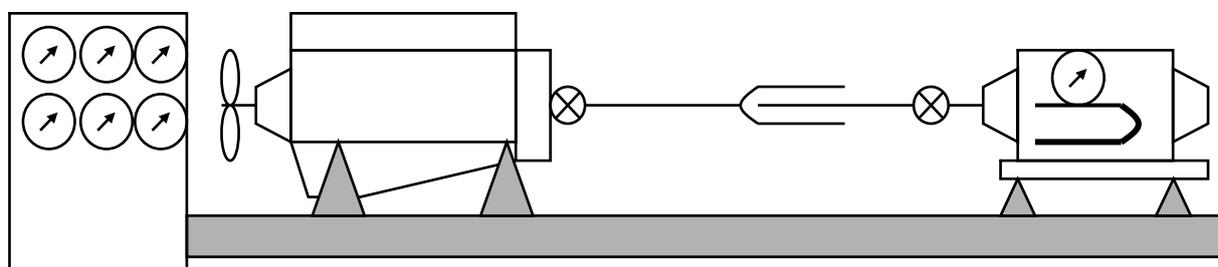


Рисунок 9.1 – Схема тормозного стенда для снятия характеристик мотора

На моторно-трансмиссионном стенде № 2 требуемый режим испытаний задаётся с помощью скоростного режима двигателя, соответствующей передачи трансмиссии и нагрузочного режима тормозов-нагрузателей.

Для измерения нагрузочных крутящих моментов на изучаемом стенде применён метод оценки реактивных моментов тормозов.

Следует иметь в виду, что моторно-трансмиссионный стенд № 2 не имеет маховых масс. Поэтому весьма не инерционен. Также важной особенностью моторно-динамического стенда № 2 является наличие двигателя с принудительным воспламенением и распределённым впрыском бензина через четыре форсунки (по количеству цилиндров). Искрообразованием на свечах зажигания и топливными форсунками управляет электронный блок (контроллер), который в зависимости от величин сигналов датчиков (частоты вращения коленчатого вала, расхода воздуха во впускной трубе, температуры охлаждающей жидкости и др.) задаёт цикловую подачу топлива (длительность включения форсунок) и угол опережения зажигания.

9.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и моторно-трансмиссионный стенд № 2, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить:

- а) цель и задачи исследований;
- б) структурную схему тормозного стенда для снятия характеристик двигателя с принудительным воспламенением и впрыском бензина.

2 Запустить двигатель моторно-трансмиссионного стенда № 2. Для этого:

- а) проверить уровни масла в моторе и трансмиссии, а также охлаждающей жидкости в расширительном бачке и топлива в топливном бачке (при необходимости долить);
- б) включить вилку пускового устройства в розетку 220 В;
- в) повернуть ключ в замке зажигания на пульте управления по часовой стрелке и удерживать в положении «Стартер» до начала работы мотора.

3 Прогреть двигатель на режиме холостого хода 1000 об/мин.

4 Вывести стенд на заданный преподавателем режим. Для этого:

- а) нажать до упора педаль управления сцеплением;
- б) включить заданную передачу путём наклона рычага переключения передач в заданную сторону до упора;
- в) плавно отпустить педаль сцепления;
- г) увеличить частоту вращения до 3000 об/мин;
- д) отметить в отчёте положение рычага подачи топлива γ_∂ (по внутренней шкале транспортира).

5 Не изменяя положения рычага подачи топлива, нагружать стенд, включив блоки питания В-24 порошковых тормозов-нагружателей и плавно поворачивая их маховички по часовой стрелке до уменьшения частоты вращения вала двигателя на 100 об/мин, отмечая при этом в отчёте показания индикаторов часового типа ($0,01 \text{ мм} = 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$).

6 Получив (сняв) таким образом несколько точек скоростной характеристики двигателя, разгрузить тормоза, переключиться на нейтральную передачу, заглушить двигатель, выключить пусковое устройство.

7 По полученным данным построить в отчёте скоростные характеристики исследуемого мотора $M_\partial = f(\omega_\partial)$, $N_\partial = f(\omega_\partial)$ для данной γ_∂ и определить доверительные интервалы полученных зависимостей.

9.5 Меры безопасности

1 Испытательные работы проводить при достаточной вентиляции лаборатории.

2 При работе стенда запрещается находиться вблизи вращающихся деталей.

Контрольные вопросы

- 1 Каковы тип и структура стенда для снятия характеристик двигателя с принудительным воспламенением?
- 2 Каковы конструкция и принцип работы электропорошкового тормоза?
- 3 Какова суть метода оценки нагрузочного момента с помощью реактивного?
- 4 Каковы скоростные характеристики двигателей с принудительным воспламенением?
- 5 Какова методика снятия скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания?

10 Лабораторная работа № 10. Оценка КПД трансмиссии

Цель работы: изучение методики испытаний трансмиссии по определению её коэффициента полезного действия.

10.1 Перечень задач, выполняемых на занятии

- 1 Изучение данных методических рекомендаций.
- 2 Изучение структуры и характеристики стенда для испытаний моторно-трансмиссионных установок самоходных машин, получение практических навыков в управлении моторно-трансмиссионным стендом.
- 3 Оценка КПД трансмиссии.

10.2 Оборудование, инструменты, материалы

- 1 Моторно-трансмиссионный стенд № 2 с двигателем ВАЗ-2112, механической трансмиссией ВАЗ-21083 и электропорошковыми тормозами ПТ-5М.
- 2 Блоки питания В-24.
- 3 Пусковое устройство.
- 4 Пульт управления.
- 5 Тахометр часового типа.

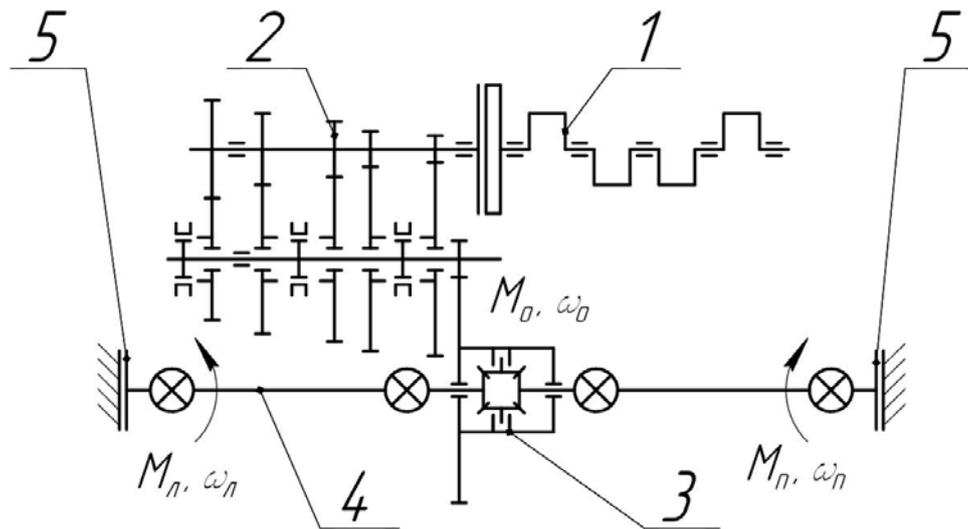
10.3 Основные положения

Для испытаний узлов трансмиссий применяют как прямоточные тормозные стенды, так и стенды с замкнутыми силовыми контурами.

В первом случае между двигателем (ДВС или электромотором) и тормозом-нагружателем устанавливается исследуемый механизм – сцепление, коробка передач, раздаточная коробка, ведущий мост. Такие стенды применяют, как правило, для краткосрочных испытаний. Требуемый режим

испытаний задаётся с помощью скоростного режима двигателя и нагрузочного режима тормоза-нагружателя.

Схема стенда для оценки КПД трансмиссии показана на рисунке 10.1.



1 – двигатель; 2 – коробка передач; 3 – главная передача с дифференциалом; 4 – приводные валы; 5 – тормоза-нагружатели

Рисунок 10.1 – Схема моторно-трансмиссионного стенда № 2

Используя схему на рисунке 10.1, КПД трансмиссии можно оценить по следующей зависимости:

$$\eta_{mp} = \frac{M_n \omega_n + M_l \omega_l}{M_d \omega_d}, \quad (10.1)$$

где M_l, M_n – крутящие моменты на левом и правом приводном валу;

ω_l, ω_n – угловые скорости левого и правого приводного вала;

M_d, ω_d – момент и угловая скорость маховика двигателя.

Для длительных испытаний трансмиссии, например, на долговечность применяют, как правило, стенд с замкнутым силовым контуром. В таком стенде нагрузка создаётся с помощью упругих сил валов, закручиваемых специальными нагружателями.

Важной особенностью моторно-трансмиссионного стенда № 2 является наличие двух тормозов-нагружателей, присоединённых к приводным валам трансмиссии. Поэтому, задавая на них с помощью блоков питания В-24 разные тормозные моменты, можно моделировать на стенде движение машины на повороте и тем самым оценивать не только КПД коробки передач и главной передачи, но и дифференциала.

Для измерения нагрузочных крутящих моментов на изучаемом стенде применён метод оценки реактивных моментов тормозов-нагружателей.

Для измерения частот вращения приводных валов в работе используется тахометр часового типа, коническая насадка которого при измерении прижимается к центральному отверстию вала тормоза-нагружателя.

10.4 Методика проведения работ

Изучив данные методические рекомендации и моторно-трансмиссионный стенд № 2, с разрешения и под наблюдением преподавателя необходимо последовательно выполнить следующие действия.

1 В отчёте по данной работе отразить:

- а) цель и задачи исследований;
- б) кинематическую схему стенда.

2 Запустить двигатель моторно-трансмиссионного стенда. Для этого:

- а) проверить уровни масла в моторе и трансмиссии, а также уровень охлаждающей жидкости в расширительном бачке (при необходимости долить);
- б) включить вилку пускового устройства в розетку 220 В;
- в) рычаг управления подачей топлива установить в среднее положение;
- г) повернуть ключ в замке зажигания на пульте управления по часовой стрелке и удерживать в положении «Стартер» до начала работы мотора.

3 Прогреть 2 мин двигатель на режиме холостого хода 1000 об/мин.

4 Вывести стенд на заданный преподавателем режим. Для этого:

- а) нажать до упора педаль управления сцеплением;
- б) включить заданную передачу путём наклона рычага переключения передач в заданную сторону до упора;
- в) плавно отпустить педаль сцепления;
- г) увеличить частоту вращения до 2000 об/мин;
- д) отметить в отчёте положение рычага подачи топлива γ_0 (по внутренней шкале транспортира) и показания индикаторов часового типа тормозов-нагружателей.

5 Нагрузить стенд, включив блоки питания В-24 порошковых тормозов-нагружателей и повернув их маховички по часовой стрелке на различные углы, отметив в отчёте показания индикаторов часового типа.

6 С помощью тахометра часового типа определить частоты вращения валов тормозов-нагружателей и занести в отчёт эти данные. Угловую скорость коленчатого вала двигателя определять по показаниям штатного тахометра.

7 Разгрузить тормоза-нагружатели, переключиться на нейтральную передачу и повторить пп. 4–6 ещё два раза.

8 Разгрузить тормоза-нагружатели, заглушить двигатель, выключить пусковое устройство.

9 По полученным данным с помощью зависимостей (10.1)–(10.4) оценить КПД дифференциала и определить его доверительный интервал.

Крутящий момент на маховике двигателя определять по зависимости

$$M_d = 100 \gamma_{d.om} / n_{d.om}, \quad (10.2)$$

где $\gamma_{d.om}$ – относительное текущее положение рычага подачи топлива,

$$\gamma_{d.om} = \frac{\gamma_d - 90^\circ}{140^\circ - 90^\circ}; \quad (10.3)$$

$n_{d.om}$ – относительная частота вращения вала двигателя,

$$n_{d.om} = \frac{n_d - 800}{5000}. \quad (10.4)$$

10.5 Меры безопасности

1 Испытательные работы проводить при достаточной вентиляции лаборатории.

2 При работе стенда запрещается находиться вблизи вращающихся деталей.

Контрольные вопросы

- 1 Какова структура стенда для оценки КПД трансмиссии?
- 2 Каковы конструкция и принцип работы электропорошкового тормоза?
- 3 Какова суть метода оценки нагрузочного момента с помощью реактивного?
- 4 Какова методика испытаний по оценке КПД трансмиссии?

Список литературы

- 1 **Кушвид, Р. П.** Испытания автомобилей: учебник / Р. П. Кушвид. – Москва : МГИУ, 2011. – 380 с.: ил.
- 2 **Цимбалин, В. Б.** Испытания автомобилей / В. Б. Цимбалин. – Москва : Машиностроение, 1978. – 199 с.
- 3 Автомобили. Испытания / Под ред. А. И. Гришкевича, М. С. Высоцкого. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 187 с.
- 4 Тракторы. Испытания / Под ред. В. В. Гуськова. – Минск : Вышэйшая школа, 1986. – 182 с.
- 5 **Лаптев, С. А.** Комплексная система испытаний автомобилей / С. А. Лаптев. – Минск : Стандарт. 1991. – 172 с.

Приложение А (справочное)

Пример составления программы-методики испытаний

НТЦ ПО «ЛиАЗ»

«УТВЕРЖДАЮ»
Главный конструктор НТЦ ПО «ЛиАЗ»
Ю. П. Андронов
18 мая 1990 г.

ПРОГРАММА-МЕТОДИКА № 11-90 г.
лабораторно-дорожных испытаний
автобуса ЛиАЗ-5256
с двигателем КамАЗ-7408.10 и ГМП фирмы ZF ECOMAT 5HP500

г. Ликино-Дулево

1. Основание для проведения испытаний.

Задание ОПАС № 192-К от 17 мая 1990 г.

2. Цель испытаний.

Определение показателей движения городского автобуса ЛиАЗ-5256 с двигателем КамАЗ-7408.10 и ГМП ECOMAT 5HP500 фирмы ZF (ФРГ):

- динамические качества;
- топливная экономичность;
- эффективность работы гидрозамедлителя;
- характеристики шума.

3. Объект испытаний.

Автобус ЛиАЗ-5256 заводской № 597 с двигателем КамАЗ-7408.10 заводской № 1200377 и ГМП ECOMAT 5HP500 фирмы ZF (ФРГ) заводской № 12555.

4. Условия испытаний и используемые приборы.

Перед испытаниями провести обкатку двигателя и ГМП в объеме 3000 км на дорогах общего пользования 3-й категории.

Испытания провести на динамометрической дороге ЦНИАП НАМИ при номинальной (15500 кг) и максимальной (17850 кг) массах автобуса.

Заполнение систем и агрегатов автобуса произвести рабочими жидкостями в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

Расход топлива определять с помощью прибора РТОС-80.

Определение пути, времени и скорости осуществлять с помощью прибора ПВС (пятое колесо).

Измерение шума произвести акустической системой 12Б ROBOTRON.

Температуры и давления рабочих жидкостей контролировать штатными приборами автобуса.

5. Содержание и объём испытаний.

Провести испытания по определению:

- а) максимальной скорости;
- б) характеристик выбега со скорости 50 км/ч;
- в) характеристик разгона с места до скорости 60 км/ч и на пути 400 и 1000 м;
- г) топливной экономичности при движении с постоянными скоростями 20; 30; 40; 50 и 60 км/ч;
- д) средней скорости и расхода топлива при движении автобуса в условиях городского ездового цикла;
- е) шумовых характеристик;
- ж) эффективности торможения гидрозамедлителем.

6. Нормативные документы.

Испытания проводить в соответствии со следующими нормативными документами:

- ГОСТ 22576–77. Автомобили и автопоезда. Номенклатура показателей скоростных свойств и методы их определения;
- ГОСТ 20306–85. Топливная экономичность автотранспортных средств;
- ГОСТ 27435–87. Внутренний шум автотранспортных средств;
- ГОСТ 27436–87. Внешний шум автотранспортных средств.

7. Оформление результатов.

Результаты испытаний оформить в виде отчёта с представлением графических зависимостей. Один экземпляр отчёта направить в НАМИ, второй – в ОГК ЛиАЗ.

Начальник ОИИОК
Инженер-исследователь
Инженер-конструктор

А. В. Табакаръ
Н. Н. Комлев
Н. Н. Филиппов