

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

# ИСПЫТАНИЯ МАШИН

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-36 11 01  
«Инновационная техника для строительного комплекса  
(по направлениям)» 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»  
«31» января 2023 г., протокол № 6

Составитель ст. преподаватель В. И. Сёмчен

Рецензент канд. техн. наук А. Е. Науменко

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов  
специальности 1-36 11 01 «Инновационная техника для строительного  
комплекса (по направлениям)» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

## ИСПЫТАНИЯ МАШИН

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	А. А. Подошевка
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 ее тарировка .....	5
2 Лабораторная работа № 2. Разработка программы испытаний .....	10
3 Лабораторная работа № 3. Исследование разгона машины с гидромеханической передачей на моторно-трансмиссионном 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 .....	29
8 Лабораторная работа № 8. Определение характеристик элементов подвески .....	32
Список литературы .....	35
Приложение А. Пример составления программы-методики испытаний .....	36

## 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 ее тарировка**

**Цель работы:** изучение структуры измерительной схемы, методики ее 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  $\pm 28$  В.
- 3 Осциллограф Н-117 с блоком питания.

## ***1.3 Основные положения***

При испытаниях любой техники измеряют: механические величины (угловые скорости  $\omega$ , моменты  $M$ , линейные скорости  $v$ , углы поворота  $\varphi$  и др.), гидравлические величины (давления  $p$ , расходы  $Q$ ), электрические величины (напряжения  $U$ , силы 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 закрываемый 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 ВИБ-6ТН лежит принцип амплитудной модуляции (преобразования) несущей частоты индуктивными датчиками, катушки которых подключены к усилителю по дифференциальной полумостовой схеме (рисунок 1.1).

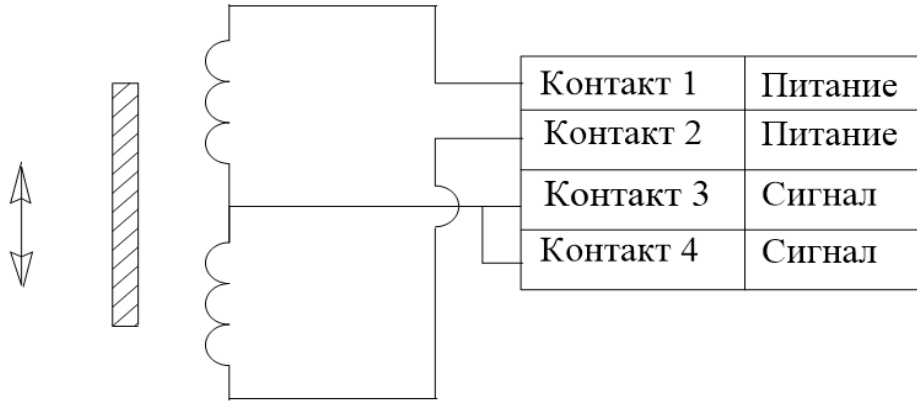


Рисунок 1.1 – Схема индуктивного датчика ВИБ-6ТН

От встроенного в ВИБ-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), определяющих 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  $\Delta k$  ( $\pm 5\%$ ), 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  $\Omega$ . Тогда АЧХ измерительной цепи определится зависимостью  $A(\Omega) = k / k_d$ .

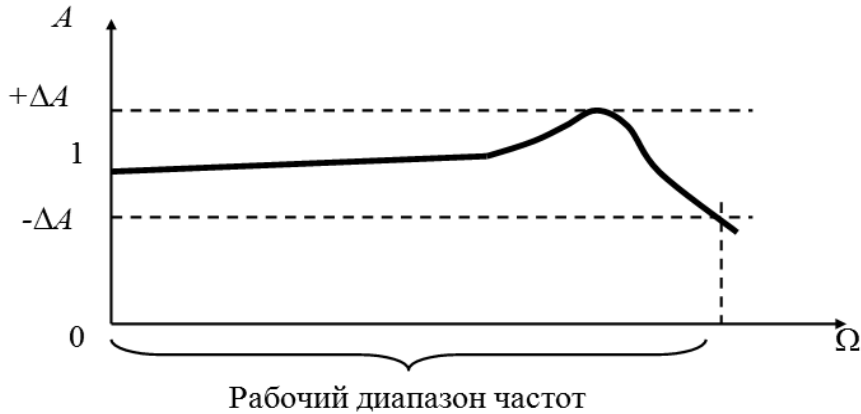


Рисунок 1.2 – АЧХ измерительной цепи

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  $t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента для данного количества повторных измерений и принятой доверительной вероятности  $\alpha$  (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 Отразить 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 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, который называется «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-трансмиссионном 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, представляющим 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 проточные 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 (ГМП), топливный бак, пульт управления, комплект датчиков и регистрирующая аппаратура.

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

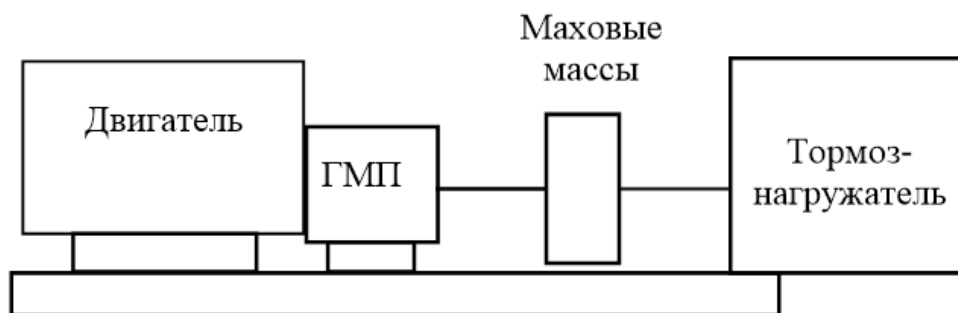


Рисунок 3.1 – Схема моторно-трансмиссионного стенда № 1

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).

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).

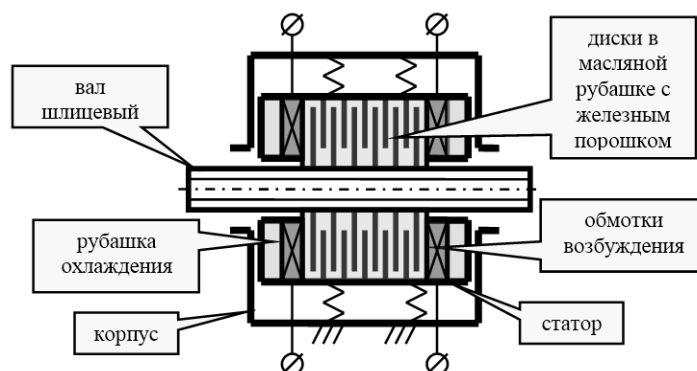


Рисунок 3.2 – Схема электропорошкового тормоза

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).

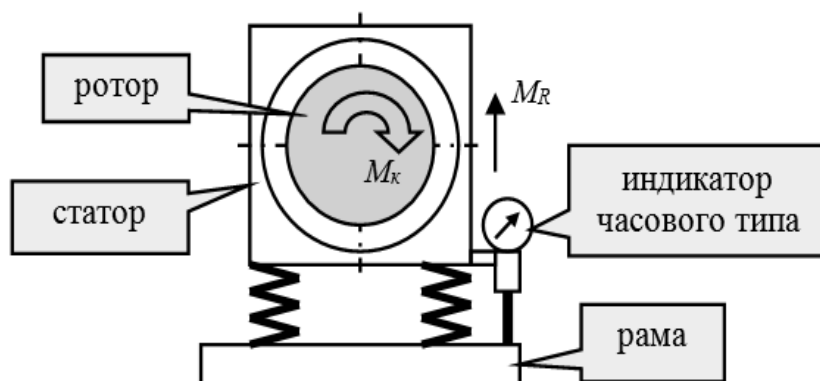


Рисунок 3.3 – Схема оценки тормозного момента с помощью реактивного

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  $\omega_d$ ;
  - б) турбинного вала ГМП  $\omega_m$ ;
  - в) вала электропорошкового тормоза  $\nu_a$ ;
- 2) два индуктивных датчика перемещений ВИ6-6ТН:
  - а) положения рычага подачи топлива дизеля  $\gamma_d$ ;
  - 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, и 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 аналого-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.

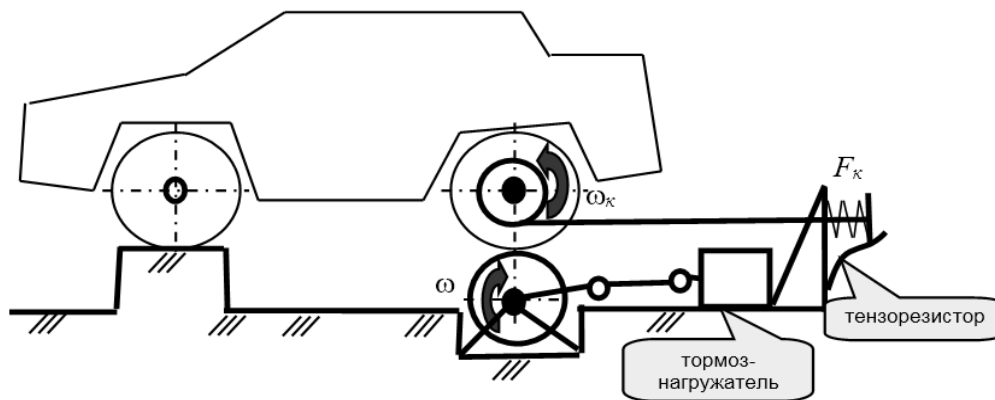


Рисунок 4.1 – Стенд с беговыми барабанами

Требуемый режим испытаний задаётся с помощью скоростного режима двигателя, передаточного числа трансмиссии испытываемой машины и нагрузочного режима тормоза-нагружателя 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  $\omega_k$ ;
  - б) бегового барабана  $\omega_b$ ;
- 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-нагружатель 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-нагрузителя 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-нагрузитель 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  $\omega_k$  и  $\omega_b$  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  $\omega^*$  – нормированное значений угловой скорости колеса и барабана,

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

$\omega$  – текущее ненормированное значение угловой скорости колеса и барабана;

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

Таблица 4.1 – Исходная информация

Номер точки	$\omega_k$	$\omega_k^*$	$\omega_b$	$\omega_b^*$	$s$	$F_k$	$F_k^*$
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
$F_k^*$											
$F_{k.cр}^*$											
$\sigma_F$											
$a_F$											

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  $F_{k.cр}^* = f(s)$  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 Какова 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  $n_{\partial}$  или его угловая скорость  $\omega_{\partial}$ , а функциями – крутящий момент на маховике  $M_{\partial}$ , мощность  $N_{\partial}$ , часовой расход топлива  $G_m$  и другие;

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

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

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  $\omega_{x,x}^{\min}$ ;

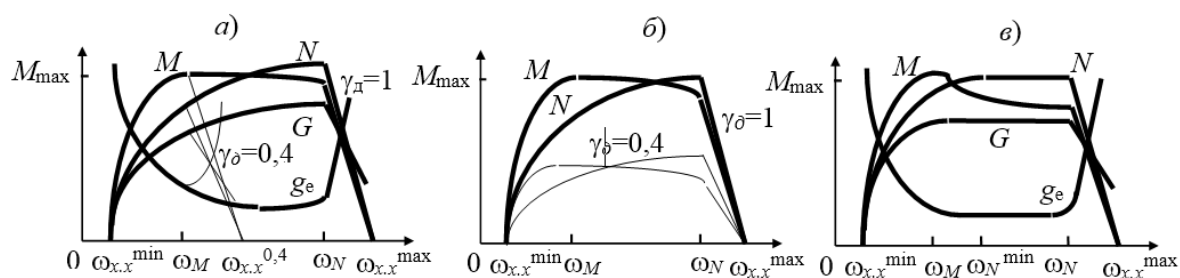
2) максимальная угловая скорость вала на холостом ходу  $\omega_{x,x}^{\max}$ ;

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

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

5) угловая скорость  $\omega_g$ , 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* – 2-режимный; *в* – ДПМ

Рисунок 5.1 – Скоростные характеристики дизелей

Для определения (снятия) характеристик ДВС применяют тормозные стенды. Основными элементами такого стенда 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 стенд № 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 стенда № 1

Требуемый режим испытаний мотора на стенде задаётся с помощью скоростного режима двигателя, включения заданной передачи, блокировки гидротрансформатора и нагрузочного режима тормоза-нагружателя, 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 вентиль (кран) под раковиной лаб. 116/3 и верхние вентили 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 поворачивать 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  $\gamma_d$  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 Какова 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  $\rho$  – плотность рабочей жидкости,  $\rho = 960 \text{ кг/м}^3$ ;

$\lambda_n$  – 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  $D_a = 0,37 \text{ м}$ );

$\omega_n$  – 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;

$\omega_m$  – угловая скорость турбинного колеса;

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

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



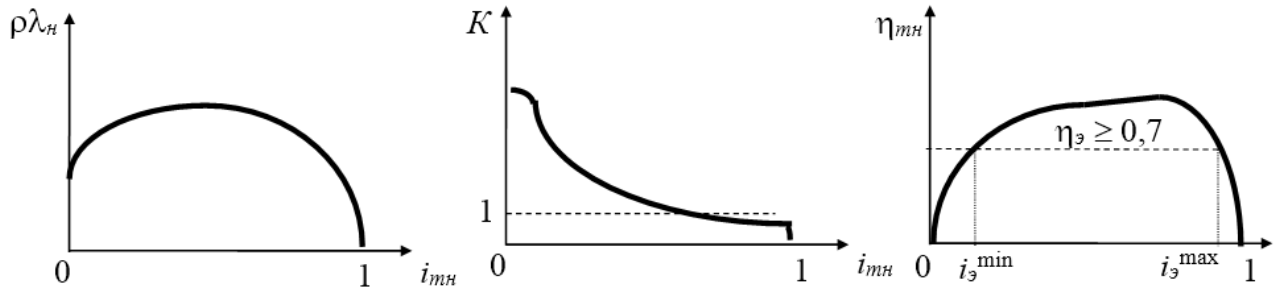


Рисунок 6.1 – Безразмерные характеристики гидротрансформатора

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  $\omega_n$  и определении на каждой ступени нагружения  $M_n$ ,  $M_m$  и  $\omega_m$ . Затем расчётным путём получают:

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

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

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

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

Перед снятием характеристик ГДТ необходимо приготовить таблицу (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Исходные данные

Номер точки		1	2	3	4	5
Положение рычага подачи топлива $\gamma_{\partial}$	град					
	$\gamma_{\partial.om}$					
Частота вращения вала двигателя $n_{\partial}$	об/мин					
	$n_{\partial.om}$					
Угловая скорость насоса ГДТ $\omega_n$ , рад/с						
Крутящий момент двигателя $M_{\partial}$ , 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  $\gamma_{\partial}$ , град;  $n_{\partial}$ , 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  $\gamma_{\partial}$ , град;  $n_{\partial}$ , 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

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

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
$i_{mn}$					
$K$					
$\rho\lambda_n$					
$\eta_{mn}$					

### 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 Какова 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

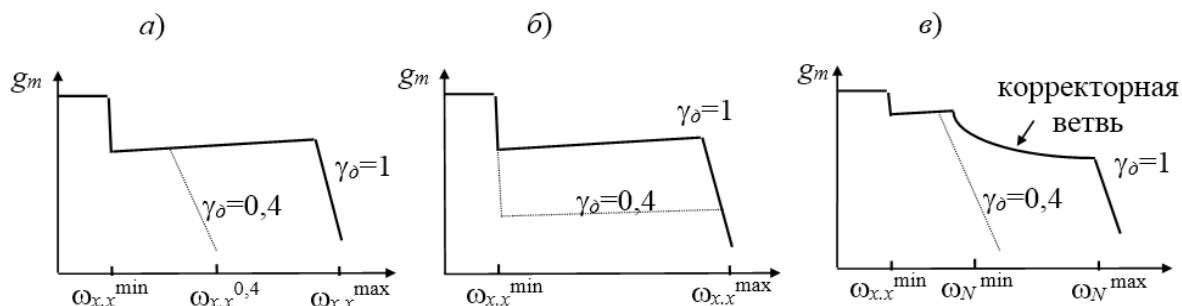
- 1 Стенд для испытаний топливной аппаратуры дизелей КИ-921.
- 2 ТНВД УТН-5 с транспортером положения рычага подачи топлива.
- 3 Штангенциркуль ШЦ-125 с глубиномером.

### 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  $g_T$  на каждом режиме с помощью регулятора. На рисунке 7.1 представлены типичные характеристики топливных насосов дизелей.



*a* – всережимный; *б* – 2-режимный; *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  $\omega_\partial$  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  $\omega_N^{\min}$  до  $\omega_N^{\max}$  (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.

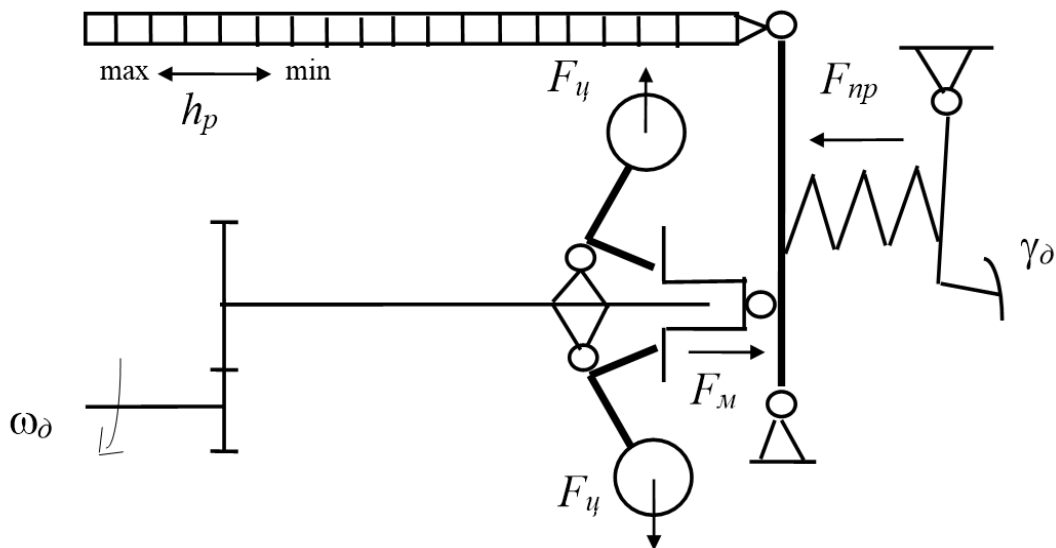


Рисунок 7.2 – Схема всережимного регулятора цикловой подачи топлива  $g_t$

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:  $h_p = f(n_\partial; \gamma_\partial)$ . 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  $\gamma_{\min}$  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  $\gamma_{\max}$ , зафиксировав гайкой, и повторить пункты 4–5.

7 Не менее трёх раз выполнить пункты 4–6 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 Какова 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 элементов 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, торсион, 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.

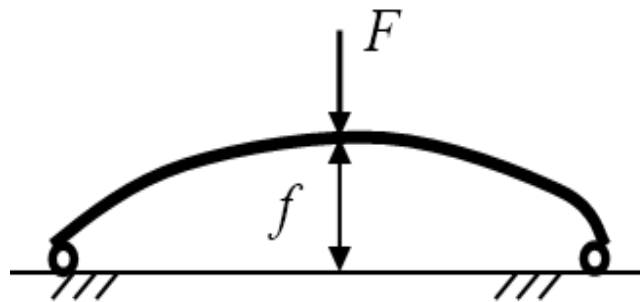


Рисунок 8.1 – Схема стенда для испытания рессор

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.

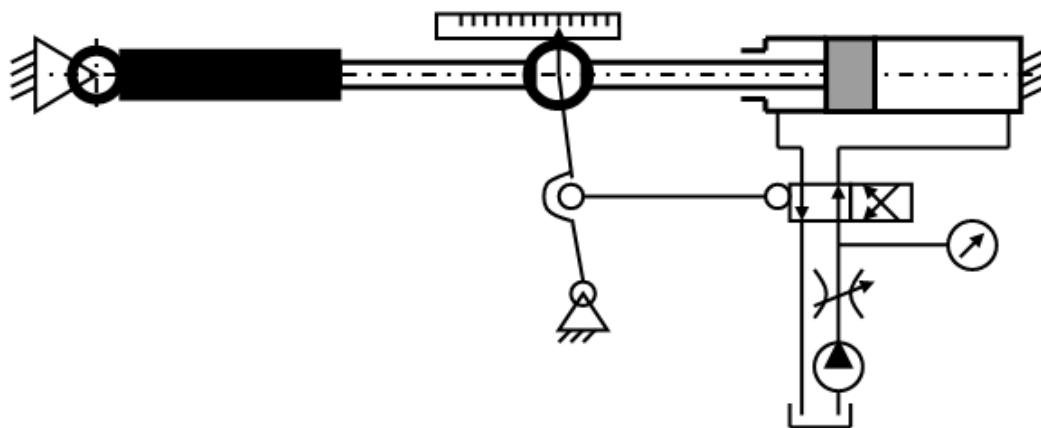


Рисунок 8.2 – Схема стенда для испытаний амортизаторов

#### 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 вишку 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?

## **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 и 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» ЕСОМАТ 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 ЕСОМАТ 5HP500 «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 ЕСОМАТ 5HP500 «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

А. В. Табакарь

Инженер-исследователь

Н. Н. Комлев

Инженер-конструктор

Н. Н. Филиппов