

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**для студентов по выполнению лабораторных работ**  
**по дисциплине «Динамика двигателей»**

Для программы лабораторных работ был отобран такой материал, на котором к концу курса обучения можно раскрыть методику современных научных исследований. Лабораторные занятия связаны с тематикой лекционных занятий. Как правило, содержание лабораторной работы преподаватель указывает в конце занятий для того, чтобы студенты могли самостоятельно подготовиться к следующей лабораторной работе. При самостоятельной подготовке к лабораторным работам рекомендуется прежде всего [1, 2, 9]. В пособии [9] дан перечень выполняемых работ и порядок их выполнения. Полный перечень литературы приводится ниже.

**а) Основная литература**

1. Гоц А.Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп.; Владим. гос. ун-т имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ. – 2014. – 180 с. **(с грифом УМО)**.
2. Гоц, А. Н. Анализ уравновешенности и методы уравновешивания автомобильных и тракторных двигателей / А.Н. Гоц; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 124 с.
3. Гоц, А. Н. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей / А.Н. Гоц; Владим. гос. ун-т. – Владим: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 225 с.
4. Гоц, А. Н. Динамика двигателей. Курсовое проектирование: учеб. пособие / А. Н. Гоц;– 2-е изд., испр. и доп., – М.: ФОРУМ: инфра-м, 2013. – 160 с. **(с грифом УМО)**.
5. Гоц, А. Н. Динамика двигателей. Курсовое проектирование: учеб. пособие / А. Н. Гоц; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2012. – 119 с. **(с грифом УМО)**.

**б) Дополнительная литература**

6. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. Кн. 2. Динамика и конструирование / В.Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 2005. – 240 с.
7. Попык К.Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К.Г. Попык – М.: Высш. шк., 1970. – 328 с.
8. Чистяков, В.К. Динамика поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания / В.К. Чистяков – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.

9. Панов, В. В. Динамика двигателей внутреннего сгорания: метод. указания к лабораторным работам / В.В. Панов, С.Г. Драгомиров, А.Н. Гоц, А.М. Шарапов. – Владимир: Влад гос. ун-т, 2003. – 60 с.
10. Гоц, А. Н. Динамический расчет двигателя и расчет удельных нагрузок на шейки коленчатого вала: метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / А.Н. Гоц, А.М. Шарапов. – Владимир: Влад гос. ун-т, 2001. – 20 с.
11. Конструирование двигателей внутреннего сгорания// Под ред. Н.Д. Чайнова. М.: Машиностроение, 2011, – 496 с.
12. Гоц, А. Н. Порядок проектирования автомобильных и тракторных двигателей / А. Н. Гоц, В. В. Эфрос; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007.
13. Программный комплекс «Diesel RK». Бесплатный удаленный доступ к системе **ДИЗЕЛЬ-РК** <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>.
14. Перечень литературы по кинематике и динамике ДВС можно найти на сайтах: <http://www.twirpx.com/files/transport/dvs/cindyn/>; <http://vlgu.info/files/details.php?file=27>

Рассмотрим выполняемые лабораторные работы.

1. Лабораторная работа №1. Определение моментов инерции деталей двигателя.

Цель работы – изучить экспериментальные методы определения осевого момента инерции деталей двигателя.

#### **Порядок выполнения работы.**

1. Определить осевой момент инерции маховика аналитическим методом. Для этого:

- а) условно разбить маховик на части, имеющие правильную геометрическую форму;
- б) определить размеры и массу каждой части;
- в) рассчитать момент инерции каждой части по формуле (1);
- г) найти осевой момент инерции всего маховика.

При расчетах можно не учитывать вес зубчатого венца, считая, что он компенсируется сверлениями и отверстиями в маховике.

2. Определить осевой момент инерции маховика экспериментальным методом. Для этого:

- а) путем взвешивания определить вес маховика с точностью  $\pm 1$  г;
- б) измерить длину нитей  $l$  и расстояния  $R_1$  и  $R_2$  от центральной вертикальной оси до точек подвеса маховика с точностью  $\pm 0,5$  мм;

в) повернуть маховик на угол  $\varphi = 5 \dots 10^\circ$  и предоставить ему возможность свободно колебаться; определить время 20 полных колебаний маховика и по результатам трех повторных опытов подсчитать среднее значение одного полного колебания  $T$ ;

г) по формуле (17) подсчитать момент инерции маховика.

3. Сравнить результаты, полученные аналитическим и экспериментальным методами. Определить погрешность каждого метода.

4. По заданию преподавателя определить момент инерции выбранной детали двигателя методом крутильных колебаний на унифилярном подвесе и методом физического маятника. Сравнить результаты, полученные разными методами. Оценить их погрешности.

### **Контрольные вопросы**

1. Что является мерой инертности тела при поступательном движении? При вращательном движении?

2. Что называется осевым моментом инерции тела относительно оси вращения?

3. Какова размерность осевого момента инерции?

4. Какие существуют методы определения моментов инерции тела?

5. От чего зависит величина осевого момента инерции тела?

6. Объясните методику экспериментального определения момента инерции тела методом крутильных колебаний на унифилярном подвесе.

7. Как выбирается диаметр и длина стержня (нити) унифиляра?

8. Объясните методику экспериментального определения момента инерции тела методом физического маятника.

9. Объясните методику экспериментального определения момента инерции тела методом трехнитяного подвеса.

2. Лабораторная работа №2. Приведение масс шатуна.

Цель работы – изучить методы приведения масс шатуна и экспериментально определить:

- положение центра массы шатуна;
- массы шатуна, отнесенные к оси поршневого пальца и к оси кривошипной головки.

### **Порядок выполнения работы**

1. Определить вес шатуна, а затем вычислить его массу.

2. Установив шатун верхней и нижней головкой на призмы, уравновесить чаши весов до горизонтального положения шатуна

(см. рис. 2). По величине груза  $\Delta G$  определить с помощью формулы (8) длину  $l_{шк}$ , а затем по формулам (6) и (7) – массы  $m_{шп}$  и  $m_{шк}$ .

3. Определить центр тяжести шатуна по методу качания. Подвешивая шатун на призме, сначала за поршневую, затем за кривошипную головку, определить периоды полных колебаний  $T_C$  и  $T_D$ . При колебаниях шатун должен отклоняться от вертикального положения на угол  $5...10^\circ$ . Период колебаний шатуна (время двойного размаха) определяется с помощью секундомера как среднее из 10...20 колебаний. Опыт повторить 3 раза.

По формуле (10) определить  $l_C$ , а затем  $l_D$  и найти центр масс шатуна. Вычислить получаемые при этом приведенные массы  $m_{шп}$  и  $m_{шк}$ .

4. Результаты опытов по методам взвешивания и качания занести в таблицу. Сравнить результаты, полученные по обоим методам, между собой и со статистическими данными, полученным по формуле (12). Оценить точность полученных результатов.

Метод определения	Координаты центра масс, м		Приведенные массы, кг	
	$l_{шп}$	$l_{шк}$	$m_{шп}$	$m_{шк}$
Взвешивание				
Качания				
По статистическим данным				

### Контрольные вопросы

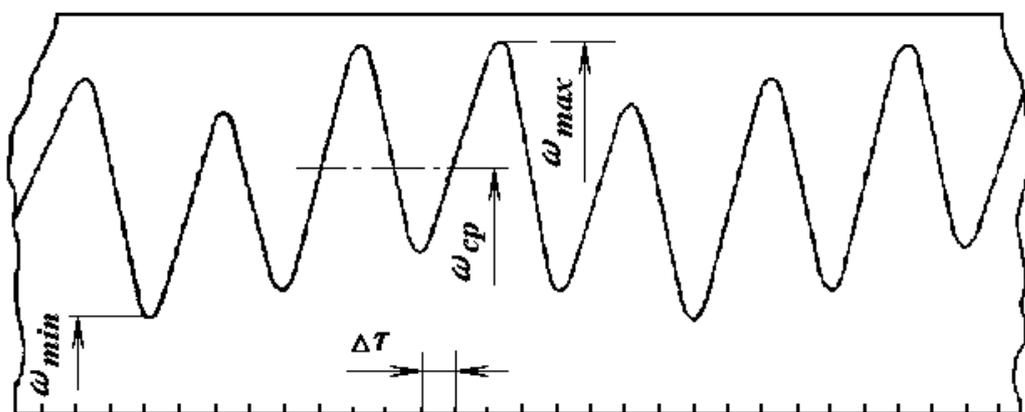
1. Какие силы действуют в кривошипно-шатунном механизме?
2. Назовите составляющие силы инерции движущихся масс.
3. От чего зависит величина сил инерции?
4. Что называется приведением масс шатуна?
5. С какой целью осуществляется приведение масс шатуна?
6. Какие существуют методы приведения масс шатуна?
7. Как приводятся массы шатуна по методу взвешивания?
8. Как приводятся массы шатуна по методу качания?
9. Как ориентировочно определить величину приведенных масс шатуна?
10. Назовите пути снижения погрешностей, допускаемых при экспериментальных методах определения приведенных масс шатуна.

3. Лабораторная работа №3. Определение неравномерности хода двигателя на установившемся режиме.

Цель работы – изучить условия неравномерности хода двигателя на установившемся режиме и экспериментально определить степень неравномерности хода двигателя при его работе в стендовых условиях.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить установку на моторном стенде измерительной системы для определения неравномерности вращения вала двигателя.
2. Запустить и прогреть двигатель.
3. Вывести двигатель на установившийся скоростной режим  $(0,6...0,8)n_{ном}$ , проверить



работу измерительной схемы и осциллографа.

4. Провести запись выходного сигнала измерительной схемы на осциллограф, фиксируя при этом среднюю частоту вращения коленчатого вала двигателя по цифровому тахометру.

5. Увеличить (уменьшить) среднюю частоту вращения вала двигателя на  $20 \dots 50 \text{ мин}^{-1}$  и произвести запись выходного сигнала измерительной схемы вторично.

6. По полученным осциллограммам для двух режимов определить  $\omega_{ср}$  и рассчитать цену показаний осциллографа в  $\text{мм}/\text{мин}^{-1}$ .

7. Определить по осциллограммам для двух режимов значения  $\omega_{min}$  и  $\omega_{max}$ . Вычислить величину  $\delta$  для этих режимов.

8. Сравнить полученные результаты со средними статистическими данными и сделать вывод по проведенной работе.

### Контрольные вопросы

1. Чем объясняется изменение угловой скорости коленчатого вала  $\omega$  в процессе работы двигателя?
2. Как записывается условие равновесия моментов, приложенных к коленчатому валу двигателя?
3. В зависимости от каких факторов изменяется индикаторный крутящий момент двигателя?

4. Как рассчитывается степень неравномерности вращения коленчатого вала двигателя  $\delta$  ?

5. Что такое коэффициент неравномерности крутящего момента  $\mu$ ?

6. Что такое степень неравномерности крутящего момента  $K$  ?

7. Каковы пределы изменения степени неравномерности вращения коленчатых валов для автомобильных и тракторных двигателей?

4. Лабораторная работа №4. Изучение вибраций двигателя в стендовых условиях.

Цель работы – изучить условия возникновения вибраций поршневого двигателя, ознакомиться с аппаратурой для измерения вибрации и экспериментально определить уровень вибрации в различных точках двигателя при его работе в стендовых условиях.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить принцип действия и конструкцию виброметра ВМ-1.
2. Ознакомиться с назначением органов управления прибором, подготовить прибор к работе.
3. Проверить работоспособность прибора, прохождение сигнала от датчика к стрелочному указателю уровня.
4. Установить вибродатчик в определенную точку на двигателе (по указанию преподавателя). Подготовить измеритель к работе.
5. Запустить и прогреть двигатель на моторном стенде. В выбранном диапазоне скоростных режимов работы двигателя через определенные интервалы частоты вращения коленчатого вала произвести замеры виброускорения (виброскорости, виброперемещения).
6. Изменить установку вибродатчика (по указанию преподавателя) и повторить замеры виброускорения (виброскорости, виброперемещения) на тех же скоростных режимах.
7. При проведении измерений вибраций бензинового двигателя отключить зажигание одного из цилиндров на выбранном скоростном режиме и оценить изменение параметров вибраций. То же самое проделать еще на нескольких скоростных режимах. Записать результаты измерений.
8. Результаты экспериментов занести в таблицу. По полученным данным построить графики зависимостей виброускорения (виброскорости, виброперемещения) в различных точках двигателя от частоты вращения коленчатого вала двигателя, а также при отключенном зажигании одного из цилиндров. Выполнить анализ полученных результатов.

## Контрольные вопросы

1. Каковы причины, вызывающие вибрации двигателя?
2. Каков частотный диапазон вибраций двигателя?
3. Каков уровень виброускорений в различных точках двигателя?
4. В каких единицах измеряется виброускорение (виброскорость, виброперемещение) ?
5. Как устроен и работает вибродатчик?
6. Опишите структуру и принцип действия виброметра.

5. Лабораторная работа №5. Исследование жесткости деталей механизма газораспределения двигателя.

Цель работы – изучить методы экспериментального исследования жесткости деталей привода клапана и определить его частоты собственных колебаний.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой проведения работы, лабораторными установками.
2. Определить деформации деталей привода клапана при нагрузке механизма до 1000 Н с интервалом 100 Н с последующей разгрузкой механизма.
3. Снять характеристику клапанных пружин при перемещении клапана от нуля до максимального значения деформации с интервалом 1 мм с последующей разгрузкой пружин.
4. Построить графики деформаций  $\Delta l = f(P)$  деталей привода клапана (см. рис.3). Деформации деталей определить как среднюю величину при нагрузке и разгрузке
$$\Delta l = \frac{(\Delta l_{наг} + \Delta l_{раз})}{2}.$$
5. Определить жесткости деталей привода клапана  $c_{кор}, c_o, c_{ш}, c_v$ , общую жесткость  $c$ .
6. Построить характеристики клапанных пружин  $P = f(h)$  (см. рис.5) с учетом нагрузки и разгрузки (по средней величине).
7. Определить жесткость клапанных пружин  $c_n$ .
8. Определить массу деталей механизма, участвующих в колебаниях  $M$ .
9. Определить частоту собственных колебаний привода клапана  $\nu$ .
10. Построить все необходимые графики (по указанию преподавателя).

### Контрольные вопросы

1. Опишите методику определения жесткости привода клапана.

2. Объясните причину несовпадения кривых деформаций при нагрузке и разгрузке механизма.
3. Как определяется частота собственных колебаний отдельных деталей?
4. Проанализируйте влияние жесткости отдельных деталей на общую жесткость привода клапана.
5. Продолжите конструктивные пути повышения жесткости привода клапана.

6. Лабораторная работа №6. исследование колебаний клапанного механизма двигателя.

Цель работы – изучить методы экспериментального исследования колебаний клапанного механизма и определить действительные нагрузки на детали привода клапана.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать совместно с преподавателем измерительное устройство, выбрать гальванометры осциллографа, коэффициенты усиления тензостанции ТА-5 и протарировать систему, построить тарировочные графики.
2. Совместно с лаборантом установить коромысла с тензодатчиками на двигатель, установить зазор между клапаном и коромыслом  $\delta = 0,3$  мм, настроить измерительную систему, установить кассету с фотобумагой на осциллограф.
3. Запустить двигатель и после его прогрева подобрать скорость развертки осциллографа, записать процессы при  $n = 500, 1000, 1500, 1800$  и  $2000$  мин<sup>-1</sup> при полной нагрузке.
4. Установить зазор между клапаном и коромыслом  $\delta = 0,5$  мм и повторить запись процессов.
5. Установить зазор между клапаном и коромыслом  $\delta = 0,8$  мм и вновь повторить запись процессов.
6. Выключить двигатель и тензоизмерительную аппаратуру, проявить светочувствительную бумагу. Пронумеровать осциллограммы и написать на них исходные данные – частоту вращения вала и величину теплового зазора, нанести обозначения на кривые.
7. Обработать осциллограммы: определить максимальные и минимальные силы, действующие в механизме, частоту колебаний привода клапанов, действительную частоту вращения коленчатого вала, продолжительность открытия клапанов и фазы газораспределения, наличие разрывов кинематической цепи привода клапанов. Для обработки выбирается участок осциллограммы (рис.2) с постоянной скоростью развертки (средний участок ленты).

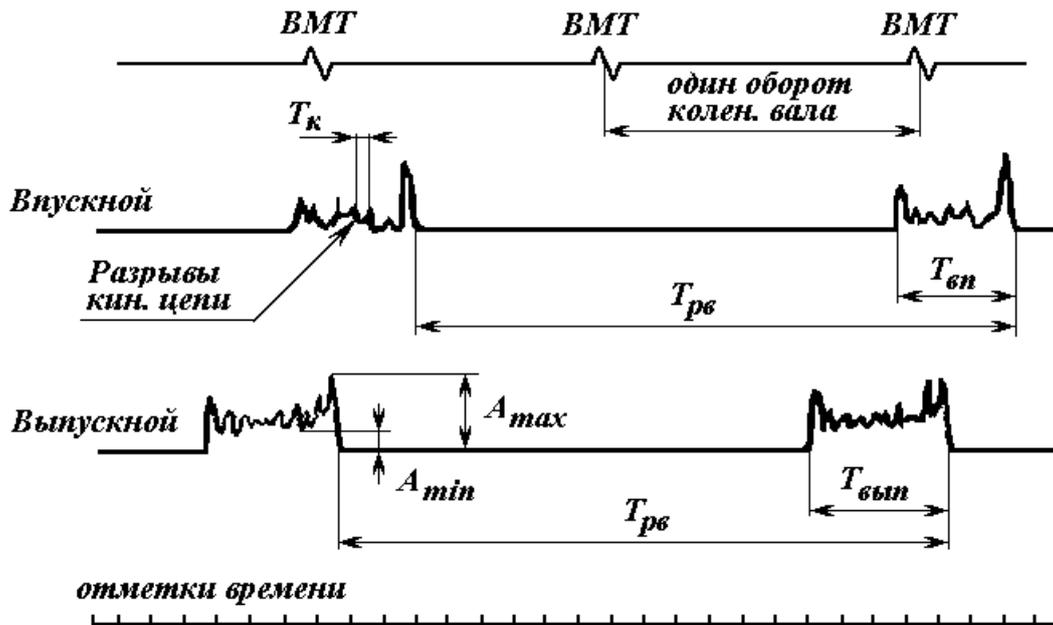


Рис. 2

Частота вращения коленчатого вала,  $\text{мин}^{-1}$

$$n = \frac{60N}{(zT_{отм})},$$

где  $N$  – число оборотов двигателя, измеренное по отметкам ВМТ на осциллограмме;  $z$  – число отметок времени на осциллограмме, соответствующих  $N$  оборотам двигателя;  $T_{отм}$  – период колебаний отметчика времени (чередование меток времени), определяемый по скорости развертки осциллографа.

$$v = \frac{60N_1}{(mT_{отм})},$$

где  $N_1$  – число колебаний, измеренных на осциллограмме;  $m$  – число отметок времени на осциллограмме, соответствующее  $N_1$  колебаниям.

$$P_{\max} = kA_{\max}, \quad P_{\min} = kA_{\min},$$

где  $k$  – масштаб осциллограммы сил, взятый с тарифовочного графика (Н/мм);  $A$  – амплитуды максимальной и минимальной сил на осциллограмме, мм.

Наличие разрывов кинематической цепи соответствует участкам, где  $P \leq 0$  (отсутствие силового замыкания).

$$\varphi_{ен} = \frac{360T_{ен}}{T_{рв}}; \quad \varphi_{вып} = \frac{360T_{вып}}{T_{рв}},$$

где  $T_{вп}, T_{вып}$  - продолжительность открытия впускного и выпускного клапанов на осциллограмме, мм;  $T_{рв}$  - продолжительность одного оборота распределительного вала на осциллограмме, мм.

Фазы газораспределения (углы опережения открытия и запаздывания закрытия впускного и выпускного клапанов определяются по продолжительности открытия клапанов относительно отметок ВМТ и НМТ). По результатам обработки осциллограмм построить следующие графики  $P_{\max, \min} = f(n, \delta)$ ,  $\phi_{вп, вып} = f(n, \delta)$  для впускного и выпускного клапанов.

### Контрольные вопросы

1. Опишите методику определения сил, действующих в механизме газораспределения.
2. Объясните характер изменения сил в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и величины зазора между клапаном и коромыслом.
3. Объясните причины разрывов кинематической цепи привода клапана.
4. Объясните характер изменения продолжительности открытия клапанов и фаз газораспределения от частоты вращения вала двигателя и величины теплового зазора.
5. Какие практические выводы можно сделать из данной работы по техническому обслуживанию клапанного механизма при эксплуатации двигателя?

7. Лабораторная работа № 7. Экспериментальное исследование крутильных колебаний коленчатого вала

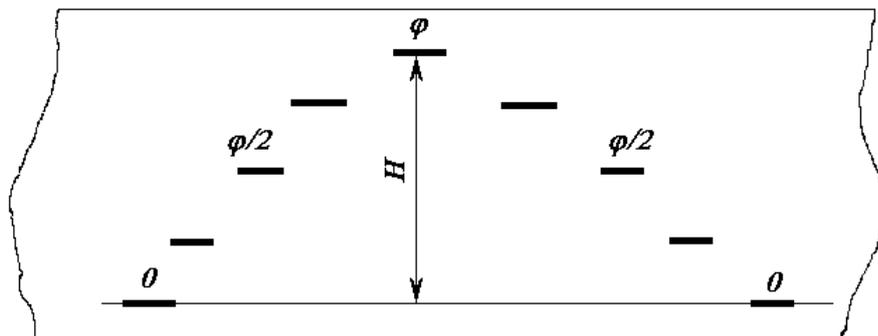
Цель работы – изучить методы экспериментального исследования крутильных колебаний коленчатого вала двигателя.

### Порядок выполнения работы

Подготовка к торсиографированию состоит в выборе гальванометра осциллографа с частотой собственных колебаний, превышающей в 8...10 раз наибольшую частоту крутильных колебаний коленчатого вала. Для двигателей с частотой вращения вала до 2400 мин<sup>-1</sup>, частота собственных колебаний гальванометра должна быть не менее 1200 Гц. Затем включается усилитель, осциллограф и после прогрева и проверки исправности измерительной системы выполняется ее тарировка. Выбирается коэффициент усиления сигнала из условия получения максимальной амплитуды сигнала торсиографа. При перемещении маховика из одного крайнего положения в другое амплитуда сигнала на экране осциллографа должна составлять 80...100 мм при ширине фотобумаги 120 мм.

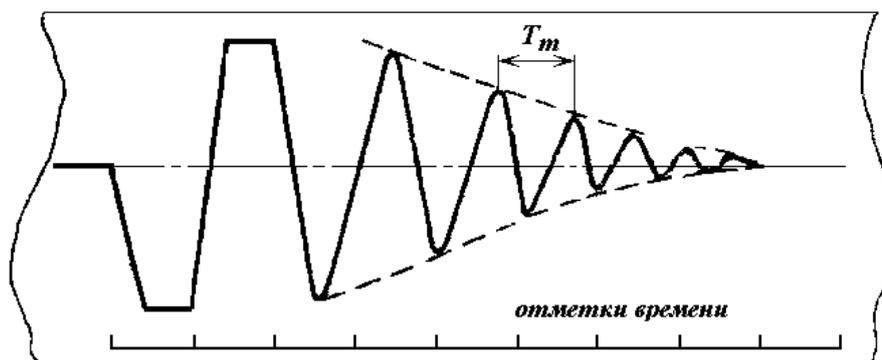
Характеристика торсиографа практически линейна, т.е. сигнал тензодатчиков прямо пропорционален углу поворота маховика относительно оси торсиографа. Поэтому масштаб торсиограммы определяется делением амплитуды сигнала  $H$  на экране осциллографа на

полный угол поворота маховика торсиографа  $\varphi$ , который может быть определен угломером или расчетом. Тарировка записывается на осциллограмму (рис.10).



После тарировки измерительной системы снимаются осциллограммы собственных колебаний торсиографа, для чего включается небольшая скорость протяжки ленты осциллографа и фиксируются колебания торсиографа, выведенного из положения равновесия (рис.11).

Затем приступают к торсиографированию коленчатого вала двигателя. Осциллограммы снимаются на режимах холостого хода, полной и частичной нагрузок при частоте вращения - от минимально устойчивой до максимальной с интервалом  $200 \text{ мин}^{-1}$ . Для получения удобных для обработки осциллограмм скорость протяжки ленты осциллографа при частоте вращения до  $2000 \text{ мин}^{-1}$  выбирается равной  $0,5 \text{ м/с}$ , а при более высокой –  $1,0 \text{ м/с}$ . Обработка осциллограмм заключается в определении частоты вращения коленчатого вала,



амплитуды и частоты его колебаний (рис.12).

Частота вращения коленчатого вала двигателя определится,  $\text{мин}^{-1}$

$$n = \frac{60N}{(zT_{отм})},$$

где  $N$  – число оборотов двигателя, замеренное по отметкам ВМТ на

осциллограмме;  $z$  – число отметок времени на осциллограмме, соответствующее  $N$  оборотов двигателя;  $T_{отм}$  - период колебаний отметчика времени (определяется по скорости протяжки ленты осциллографа), с.

Частота крутильных колебаний определится по формуле, кол./мин

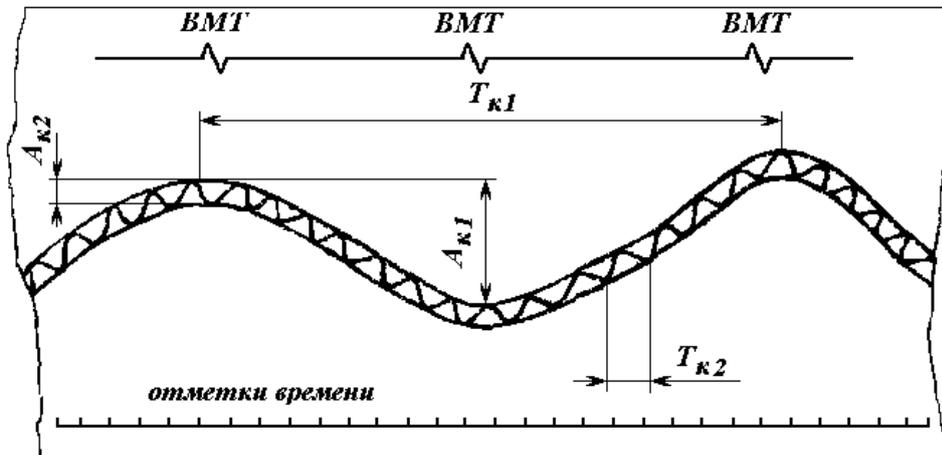


Рис. 12

$$\nu = \frac{60N_k}{(mT_{отм})},$$

где  $N_k$  - число колебаний, измеренных на осциллограмме;  $m$  – число отметок времени на осциллограмме, соответствующих  $N_k$  колебаниям.

Амплитуда колебаний, рад

$$A = lA_k,$$

где  $l$  - масштаб торсиограммы, рад/мм;  $A_k$  - амплитуда колебаний на осциллограмме, мм.

По полученным осциллограммам выявляются резонансные режимы работы двигателя, которые затем исследуются с небольшим интервалом по частоте вращения коленчатого вала.

По результатам торсиографирования строится зависимость амплитуды колебаний коленчатого вала от частоты вращения и определяется порядок резонирующей гармоники

$$K = \frac{\nu}{n}.$$

Часто кривая крутильных колебаний не является чисто синусоидальной, поэтому для определения частот и амплитуд колебаний необходимо провести ее гармонический анализ с использованием ЭВМ.

### Контрольные вопросы

1. Опишите методику торсиографирования.
2. Изложите методику обработки осциллограмм.

3. Как устроен и работает торсиограф?
4. Что такое крутильные колебания?
5. Как определяются резонансные режимы работы двигателя?

8. Лабораторная работа №8. Исследование системы уравнивания двухцилиндрового рядного двигателя.

Цель работы – выполнить анализ уравновешенности двухцилиндрового дизеля Д-120; определить параметры системы уравнивания моментов от центробежных сил и сил инерции первого порядка.

### **Порядок выполнения работы**

1. Выполнить расчет уравновешенности двигателя для заданной частоты вращения коленчатого вала.
2. Выполнить расчет механизма уравнивания.
3. Подобрать грузы дополнительного валика, а также определить массы прилива на шкиве и маховике по расчетным величинам статических моментов путем статической балансировки указанных деталей.

Статический момент указанных деталей определяется с помощью дополнительных масс, закрепляемых на деталях при их статической балансировке.

Принадлежности: балансировочные параллели, уровень, набор грузов, шкивов и маховиков.

Отчет по работе должен содержать анализ уравновешенности двигателя, расчет и схему системы уравнивания, результаты экспериментального подбора уравнивающих грузов, выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как определяется уравновешенность двигателя?
2. Как уравниваются центробежные силы инерции и их моменты?
3. Как уравниваются силы инерции первого и второго порядка и их моменты?
4. Объясните методику статической балансировки вращающихся деталей?

9. Лабораторная работа №9. Экспериментальное исследование демпферов крутильных колебаний.

Цель работы – изучить методы экспериментального исследования крутильных колебаний демпферов коленчатых валов ДВС.

## Порядок выполнения работы

1. Используя установку [9] получить зависимость угла закрутки маховика демпфера от приложенного крутящего момента. Результаты замеров при нагружении занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты замеров жесткостных характеристик  
резинового слоя

№ опыта по п/п	Момент М, Н·м	Угол закрутки $\varphi$ , рад·10 <sup>3</sup>	Вид нагружения
1 2 3 4			Нагрузка
1 2 3 4 5			Разгрузка
1 2 3 4			Нагрузка
1 2 3 4 5			Разгрузка

2. Используя полученные данные, построить петлю гистерезиса резинового слоя демпфера в координатах  $M$ - $\varphi$ .

3. Используя зависимость  $M$ - $\varphi$ , определить усредненный коэффициент жесткости  $C$  резинового слоя по формуле  $C = M/\varphi$  и относительный коэффициент демпфирования по формуле

$$\xi'_d = E_{\pi} / E_{\max} = S_{\pi} / S.$$

4. Записать осциллограмму свободных колебаний демпфера.

5. По формуле

$$C_d = I\omega_d^2 [1 + (\delta/2\pi)^2]$$

Рассчитать динамический коэффициент жесткости резинового слоя  $C_d$ .

## Контрольные вопросы

1. Объясните назначение демпферов крутильных колебаний коленчатых валов ДВС.
2. Опишите конструкцию демпфера крутильных колебаний внутреннего трения.

3. Что называется коэффициентом относительного внутреннего трения резины демпфера?
4. Опишите конструкцию установки для определения жесткостных характеристик резинового слоя демпфера.
5. Объясните методику определения статистического коэффициента жесткости резинового слоя.
6. Объясните методику определения динамического коэффициента жесткости резинового слоя.

Лабораторные работы выполняются в специализированных лабораториях.

### **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ**

Каждая из лабораторных работ относится к определенному разделу учебного курса. Поэтому при подготовке необходимо детально ознакомиться со всеми вопросами, относящимися к данной работе, по источникам [1, 9], приведенным в списке рекомендуемой литературы.

Перед выполнением каждой работы студент должен изучить устройство лабораторной установки и порядок выполнения задания. При недостаточной подготовленности студент к выполнению лабораторной работы не допускается.

При выполнении лабораторных работ студенты должны строго соблюдать все правила техники безопасности, с которыми они были ознакомлены на инструктаже.

Результаты измерений студент заносит в протокол наблюдений. Протокол подписывается преподавателем и прилагается к отчету.

Отчет должен содержать краткое изложение основ теории, принципиальную схему испытательной установки, протокол испытаний (наблюдений), результаты обработки опытных данных, необходимые графические зависимости (характеристики двигателя и др.), оценку погрешностей экспериментальных данных, анализ полученных результатов. Графики выполняются *обязательно* на миллиметровой бумаге формата А4 с применением чертежных инструментов или компьютерной графики (на листах бумаги А4).

Для получения зачета по выполненной работе следует представить преподавателю отчет, показать знание основных положений теории, техники и методики эксперимента, а также умение критически оценить полученные результаты.