



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

**УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Лабораторный практикум

**Минск
БНТУ
2012**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-37 01 01
«Двигатели внутреннего сгорания»

Минск
БНТУ
2012

УДК 621.43-52(075.8)

ББК 31.365я7

У66

Составители:

М. П. Бренч, М. П. Ивандиков,

А. Ю. Пилатов

Рецензенты:

В. П. Автушко, А. С. Климук

Управление двигателями внутреннего сгорания : лабораторный
У66 практикум для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели
внутреннего сгорания» / сост. : М. П. Бренч, М. П. Ивандиков,
А. Ю. Пилатов. – Минск : БНТУ, 2012. – 38 с.

ISBN 978-985-525-980-1.

В практикуме изложены методики проведения лабораторных работ по изучению конструкций и принципов действия различных автоматических устройств двигателей внутреннего сгорания различного функционального назначения, приведены принципиальные схемы автоматических измерительных устройств.

Тематика лабораторных работ имеет исследовательский характер.

Приведен справочный материал по техническим характеристикам автоматических регуляторов.

Издание предназначено для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» и может быть использовано студентами других автотракторных специальностей.

УДК 621.43-52(075.8)

ББК 31.365я7

ISBN 978-985-525-980-1

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

Введение

В настоящее время в условиях интенсивного развития производительных сил, при значительном росте стоимости углеводородного сырья и постоянно увеличивающемся его потреблении экономия топливно-энергетических ресурсов и уменьшение их затрат на единицу произведенной работы является задачей, имеющей общегосударственное значение. Решение данной задачи неразрывно связано с автоматизацией, как необходимого элемента любой отрасли народного хозяйства и исторически неизбежного процесса на пути развития научно-технической революции. Под *автоматизацией* понимают внедрение различных автоматических устройств в системы управления машинами, отдельными агрегатами и технологическими процессами.

Автоматизация двигателей внутреннего сгорания позволяет существенно снизить материалоемкость, повысить топливную экономичность и улучшить их экологические характеристики. Уровень автоматизации двигателей зависит от области их применения и условий эксплуатации. Двигатели, входящие в состав стационарных силовых установок, автоматизируются в соответствии с требованиями государственного стандарта. Стандартизация ступеней автоматизации двигателей является признанием большого технического опыта в этой области, наличия разнообразных конструкторских решений.

В области двигателей, применяемых непосредственно для автомобилей и тракторов, автоматизация находится на стадии отдельных, разовых применений автоматических устройств и отличается отсутствием комплексных автоматизаций. Парк таких двигателей работает до 80–90 % времени на неустановившихся режимах, что в свою очередь приводит к снижению их производительности и экономичности, повышению дымности и токсичности отработавших газов. В этой связи создание автоматических устройств для согласованной работы различных систем двигателей, обеспечивающих улучшенные их характеристики, является важной инженерной задачей.

Настоящий лабораторный практикум составлен на основе опыта работы со студентами автотракторного факультета Белорусского национального технического университета, специализирующимися по автотракторным двигателям внутреннего сгорания. В нем изложены принципы функционирования и испытания, конструктивные особенности автоматических устройств, применяемых для регулирования одной или нескольких регулируемых величин с помощью автоматических регуляторов.

Общие указания по выполнению лабораторных работ

Перед выполнением лабораторной работы преподаватель знакомит студентов с ее целью и содержанием. При необходимости кратко излагается теоретический курс, относящийся к проводимой работе. Особое внимание обращается на правила охраны труда и техники безопасности.

Лабораторные работы выполняются бригадами по три-четыре человека. Наличие оформленного отчета для каждого студента обязательно. Его оформление осуществляется в соответствии со стандартом предприятия и правилами единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Он должен содержать:

- цель работы;
- принципиальную схему изучаемого автоматического устройства;
- краткое описание действия автоматического устройства;
- описание основных регулировок автоматического устройства;
- результаты испытаний или теоретических исследований автоматического устройства;
- заключение (мнение специалиста об изученном или исследованном техническом объекте или явлении).

Отчет выполняется на бумажном носителе формата А4 от руки или с применением ЭВМ.

Он должен иметь подпись студента и защищается им на последующей лабораторной работе.

ВСЕРЕЖИМНЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ВНЕШНИМ ПЕРЕМЕННЫМ НАТЯЖЕНИЕМ ПРУЖИНЫ

Цель работы: изучение конструкции всережимного регулятора 4УТНИ-Т и режимов его работы, принципа обеспечения всережимности; определение массы грузов и размеров рычагов регулятора.

Оборудование рабочего места

Для выполнения работы студенту выдаются учебный топливный насос 4УТНИ-Т с регулятором тракторного дизеля модификации Д-245; плакаты регулятора с описанием отдельных конструктивных элементов; комплект инструментов для разборки и сборки конструкций.

Описание схемы регулятора 4УТНИ-Т

Топливный насос с регулятором 4УТНИ-Т выпускается Ногинским заводом топливной аппаратуры (Россия). По классификации это механический, центробежный, всережимный регулятор прямого действия с переменным натяжением пружины.

Кинематическая схема регулятора показана на рис. 1.1.

На хвостовике кулачкового вала установлена ступица с грузами 17 и свободно посажена муфта 16 регулятора с упорным подшипником. На оси, расположенной в нижней части корпуса регулятора, установлены основной 9 и промежуточный 8 рычаги. На промежуточном рычаге размещены ролик 15, корректор топливоподачи 10, 11, пружина обогатителя 3. Верхняя часть промежуточного рычага соединена тягой 6 с рейкой 5 насоса. В заднюю стенку корпуса регулятора ввернут болт номинала 13, который головкой ограничивает перемещение основного рычага в сторону увеличения подачи топлива при оборотах двигателя ниже номинальных. Основной и промежуточный рычаги связаны между собой болтом 14, обеспечивающим необходимый угловой люфт между рычагами и регулирование подачи топлива при пуске. Пружина регулятора 7 одним концом соединена с основным рычагом, другим – с рычагом управления 2. В специальный прилив корпуса регулятора снаружи ввернут

болт максимальных оборотов *1*. Специальный механизм выключения подачи отсутствует. Перемещение основного рычага в сторону выключения подачи топлива ограничивается винтом *12*.

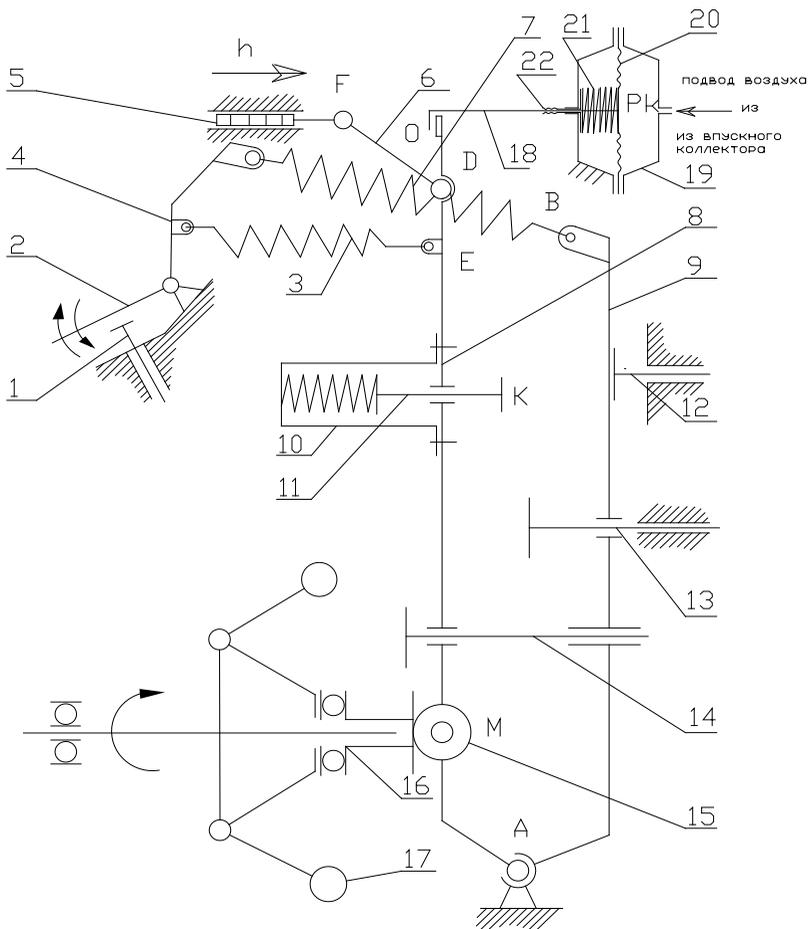


Рис. 1.1. Кинематическая схема регулятора 4УТНИ-Т

В торцевой части стакана муфты *16* имеется отверстие, предназначенное для демпфирования линейных колебаний муфты регулятора.

При пуске двигателя рычаг управления поворачивают до упора в болт максимальных оборотов. Пружины регулятора и обогатителя натягиваются. Усилие пружины обогатителя преодолевается при увеличении оборотов коленвала двигателя до 200–300 мин⁻¹ (обороты вала насоса 100–150 мин⁻¹).

Регулятор обеспечивает максимальные холостые обороты при работе двигателя без нагрузки и положении рычага управления на упоре.

Пружина корректора при этом сжата, и рычаги регулятора работают как один (прижаты друг к другу).

На номинальных оборотах основной рычаг упирается в головку болта номинала.

При перегрузке двигателя, когда нагрузка увеличивается выше номинальной, число оборотов двигателя падает. Промежуточный рычаг под действием пружины корректора перемещает рейку в сторону увеличения подачи топлива и обеспечивается увеличение крутящего момента двигателя на корректорной ветви. Такая работа автоматического регулятора характерна для режимов работы безнаддувного дизеля и двигателя с наддувом при достаточном давлении надувочного воздуха.

При работе двигателя с наддувом в условиях динамического нагружения (трогание с места, разгон) рычаг управления 2 переводится в упор 1. При низком давлении наддува пружина регулятора 7, 3 растягивается и через рычаги 9 и 8 переводит рейку топливного насоса 5 практически мгновенно в положение максимальной подачи топлива. Турбокомпрессор, имеющий газовую связь с двигателем, не может за данный промежуток времени обеспечить требуемый расход воздуха. Из-за отсутствия достаточного количества воздуха в цилиндре происходит неполное сгорание топлива, сопровождаемое повышенной дымностью. Для согласования цикловой подачи топлива и воздуха на неустановившихся режимах в верхней части корпуса автоматического регулятора установлен пневматический корректор топливоподачи (противодымный корректор).

Он состоит из подвижного упора 18, корпуса 19, мембраны 20, пружины пневмокорректора 21 и регулировочной втулки 22. При недостаточном давлении наддува, пружина пневмокорректора 21 отодвигает подвижный упор 18 в крайнее правое положение, который в свою очередь независимо от положения рычага управления 2

удерживает промежуточный рычаг регулятора δ в положении, обеспечивающем цикловую подачу топлива, соответствующую количеству воздуха, подаваемого турбокомпрессором. По мере нарастания давления наддува мембрана 20 сжимает пружину пневмокорректора 21 и подвижный упор передвигается влево, тем самым рейка топливного насоса передвигается в сторону увеличения цикловой подачи топлива. При достижении требуемого давления наддува подвижный упор 18 отходит от упора промежуточного рычага δ и автоматический регулятор работает в режиме безнаддувного дизеля.

Выключение подачи топлива осуществляется рычагом управления.

Порядок выполнения работы

По плакатам и описанию в заводской инструкции ознакомиться с назначением, кинематической схемой и принципом действия всережимного регулятора изучаемого типа. Пользуясь учебным топливным насосом, рассмотреть и изучить устройство регулятора. При изучении конструкции регулятора обратить внимание на механизм привода грузов регулятора, взаимодействие основного и промежуточного рычагов, на место установки корректора топливоподачи и пневматического корректора топливоподачи, рычага управления скоростными режимами двигателя. При разборке и сборке обратить внимание на пружину обогатителя, корректор, демпфер линейных колебаний муфты, компоновку регулятора с насосом, определить суммарную массу грузов и размеры основного и промежуточного рычагов (в кинематической схеме).

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия корректора топливоподачи.
2. Назначение и принцип действия пневматического корректора топливоподачи.
3. Назначение и принцип действия пускового обогатителя.
4. Каким образом уменьшается неравномерность вращения грузов регулятора?
5. Как производится регулировка стартовой подачи?
6. Как производится регулировка номинальной подачи топлива?
7. Как регулируется максимальное число оборотов холостого хода?
8. Как регулируется ход подвижного упора пневмокорректора?

ВСЕРЕЖИМНЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ПОСТОЯННОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАТЯЖКОЙ ПРУЖИНЫ

Цель работы: изучение конструкции всережимного регулятора РВ-650 и принципа обеспечения всережимности работы в механических регуляторах с постоянной предварительной затяжкой пружины.

Оборудование рабочего места

Для выполнения работы студенту выдается учебный разрезной топливный насос 4ТН 8,5×10 в сборе с регулятором РВ-650; плакаты, поясняющие работу и устройство регулятора; комплект инструментов для разборки конструкции.

Описание схемы регулятора РВ-650

Регулятор изучаемого типа имеет характерную схему. Он применяется на дизелях Д-48, СМД-14, А-01. По классификации это механический, центробежный, всережимный регулятор прямого действия с постоянной предварительной затяжкой пружины.

Кинематическая схема регулятора показана на рис. 1.2.

Вал регулятора приводится во вращение от вала топливного насоса через пару шестерен с передаточным отношением 3,643. Повышение частоты вращения вала регулятора обеспечивает достаточное перестановочное усилие с грузами меньшей массы и размеров.

На валу регулятора установлена крестовина 3, в которой укреплены оси 5 двух грузов 6. Муфта 7 регулятора с упорным подшипником 4 может перемещаться на валу в осевом направлении. В кольцевую выточку муфты входят штыри вильчатого переводного рычага 12. Верхний конец рычага связан шарнирно тягой 1 с рейкой 2 топливного насоса, а нижний конец – осью 16 с кронштейном 14. Кронштейн свободно поворачивается на валу 13, на котором закреплен рычаг управления. Через двойную спиральную пружину 15 кронштейн 14 связан с рычагом управления.

При неработающем двигателе муфта под действием наружной пружины 8 удерживается в крайнем левом положении, а переводной рычаг 12 и рейка 2 – в положении, соответствующем макси-

При увеличении частоты вращения грузы расходятся, сжимая пружину, и перемещают рейку в сторону уменьшения подачи топлива.

Установка необходимого скоростного режима осуществляется водителем путем перемещения в пространстве подвижной опоры 16 переводного рычага 12 (точки 0, 0', 0''). Положения 0' и 0'' определяют упоры 17 и 18, которые соответствуют минимальной и максимальной частотам вращения холостого хода.

Для повышения частоты вращения необходимо кронштейн 14 повернуть вправо (точка 0). При этом рычаг 12 повернется вокруг точки «С» против часовой стрелки и сместит рейку в сторону увеличения подачи топлива. Частота вращения будет повышаться до тех пор, пока не уравнивается центробежная сила грузов и сила пружин. Скоростной режим, заданный положением кронштейна 14, автоматически поддерживается регулятором.

Положение оси 16, при постоянном на всех режимах полном ходе рейки, определяет максимально возможную для данного случая деформацию пружин. Деформация пружин, в свою очередь, задает скоростной режим, так как сжатие пружины происходит под действием центробежной силы, которая пропорциональна угловой скорости двигателя. При любом положении оси 16 рейка совершает полный ход при изменении нагрузки от минимальной до номинальной.

При режиме перегрузки усилие пружин 8, 9 преодолевает сопротивление пружины 15 и кронштейн 14 начинает поворачиваться относительно вала 13, разжимая концы пружины 15 своим нижним ребром. При повороте кронштейна ось 16 из положения «0'''» поднимается по дуге в направлении 0; винт 10 при этом скользит по скосу призмы вверх и влево. Рейка перемещается влево, увеличивая подачу топлива. Призма 11 выполняет в этом случае роль элемента корректора топливоподачи.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться по описанию и плакатам с принципом действия всережимного регулятора изучаемого типа. Пользуясь разрезным учебным насосом, изучить конструкцию регулятора. При изучении его устройства обратить внимание на пусковой обогатитель, соединение кронштейна 14 с валом 13, размещение в пространстве элементов регулятора, компоновку регулятора с топливным насосом.

Определить суммарный вес грузов регулятора и размеры плеч рычага 12, кронштейна 14. Непосредственно измерить полный ход рейки. Объяснить принцип всережимности регулятора данного типа, используя кинематическую схему.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется привод вала регулятора?
2. На каком режиме работы двигателя вступает в действие двойная спиральная пружина?
3. Как определить по схеме упор максимальных и минимальных оборотов?
4. Каким образом обеспечивается стартовая подача топлива?
5. Объяснить принцип всережимности.
6. Как конструктивно выполнен корректор топливоподачи?

ИСПЫТАНИЯ ВСЕРЕЖИМНОГО РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДИЗЕЛЯ НА СТЕНДЕ

Цель работы: проверка соответствия настройки регулятора заданным техническим условиям; приобретение навыков регулировки регулятора; построение опытной регуляторной характеристики топливного насоса.

Оборудование рабочего места

Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде для испытаний дизельной топливной аппаратуры СДТА-1, на котором монтируется заданный преподавателем топливный насос в сборе с регулятором. Студенты получают комплект инструментов для производства регулировочных работ и плакаты с описанием технологии производства работ.

Порядок выполнения работы

Испытания регулятора на стенде состоят из нескольких операций:

А. Проверка и регулировка на начало действия регулятора.

У правильно отрегулированного регулятора начало действия должно находиться на 10–25 в мин^{-1} выше номинальной частоты вращения вала насоса (табл. 3.1). При этом топливный насос должен быть предварительно отрегулирован на соответствующую производительность на номинальном режиме. Регулировочные параметры топливных насосов тракторных дизелей даны в приведенной ниже табл. 3.2. Преподавателем указывается марка топливного насоса, установленного на стенде. До начала работы надо вписать в журнал испытаний регулировочные параметры из таблицы, обратив внимание на номинальную частоту вращения кулачкового вала топливного насоса и соответствующую ему номинальную производительность насосного элемента.

Для проверки и регулировки регулятора на начало действия необходимо выполнить следующее.

1. Установить рычаг управления регулятором в положение наибольшего скоростного режима (до упора). Снять крышку люка регулятора.

2. Запустить стенд и установить номинальную частоту вращения вала насоса, соответствующую данной марке топливного насоса, согласно табл. 3.2.

3. Плавно повышать частоту вращения вала, наблюдая за вильчатым рычагом или рейкой регулятора. Когда рычаг регулятора начнет отходить от упора призмы или рейка насоса начнет выходить из корпуса насоса, изменение частоты вращения прекратить и определить ее частоту вращения по тахометру стенда. У правильно отрегулированного регулятора начало действия должно соответствовать данным табл. 3.1.

Таблица 3.1

Параметры работы топливных насосов

Марка топливного насоса	Марка дизеля	Частота вращения кулачкового вала насоса в мин ⁻¹		
		номинальная	начала действия регулятора	полного выключения подачи топлива
Л2ТН-8, 5×10 мм	Д-16	800	810–820	870
4ТН-8, 5×10 мм	Д-35	700	710–720	800
	Д-36			
4ТН-8, 5×10 мм	Д-40	750	760–770	850
4ТН-8, 5×10 мм	Д-48	800	810–820	900
4УТНИ	Д-243	1100	1115–1125	1210
4УТНИ-Т	Д-245	1100	1115–1125	1210

4. Если регулятор вступит в работу при большей или меньшей частоте вращения, нужно изменить положение винта упора рычага регулятора: уменьшение числа прокладок под винтом упора рычага регулятора у насосов типа ТН увеличивает частоту вращения, при которой регулятор вступает в действие, а для насосов типа УТН винт упора выворачивают.

Б. Проверка действия пускового обогатителя (только для регулятора насосов типа ТН).

Запустить стенд и установить частоту вращения вала насоса около 300 мин⁻¹. Вытянуть до отказа кнопку обогатителя и установить рычаг управления в среднее положение. Постепенно повышать частоту вращения до тех пор, пока рычаг регулятора не отклонится влево и обогатитель не займет исходное положение. В этом положении определить по тахометру стенда частоту вращения.

У нормально работающего регулятора это должно происходить при 350–500 мин⁻¹.

В. Испытание регулятора на всережимность.

1. Заготовить протокол испытаний (табл. 3.2).

2. Рычаг управления регулятором поставить в положение наибольшего скоростного режима (до упора).

Таблица 3.2

Протокол испытаний

№ п / п	Положение рычага регулятора	Частота вращения вала насоса, мин ⁻¹		Степень неравномерности регулятора δ	Число циклов k	Объемная подача одной секции, мм ³	Часовая подача насоса, кг / час
		начала действия регулятора	полного прекращения подачи топлива				
1.	На упоре						
2.							
3.							

3. Запустить стенд и установить частоту вращения вала насоса, соответствующую началу действия регулятора.

4. Определить при этой частоте вращения производительность насоса по подаче одной из секций по формуле

$$Q_H = \frac{4 \cdot 60 \cdot n_n \cdot g \cdot \rho}{1000 \cdot k} = \frac{0,24 \cdot n_n \cdot g \cdot \rho}{k}, \text{ кг / час,}$$

где g – объемная подача одной секции за k циклов, м³;

n_n – частота вращения вала насоса, при которой определяют подачу, мин⁻¹;

ρ – плотность топлива, кг / м³ (для дизельного топлива равна 825–845 кг / м³ по СТБ1658–2006);

k – число циклов, за которые определяют подачу секций насоса (устанавливается на счетчике стенда).

5. Определить частоту вращения полного прекращения подачи топлива насосом через форсунки.

Для этого открыть заслонку, чтобы можно было наблюдать за сливом топлива из пеногасителей и плавно повышать частоту вращения вала насоса до полного прекращения подачи топлива. Затем показания тахометра записать в протокол испытаний.

6. Отвести рычаг регулятора от упора на 4–5 мм и зафиксировать его.

При этом положении рычага снова определить частоту вращения действия регулятора и производительность насоса при ней, а затем частоту вращения полного прекращения подачи топлива.

7. Опыт повторить при третьем положении рычага. Для этого необходимо отвести рычаг от упора на 10–12 мм.

На основании результатов для каждого опыта рассчитать степень неравномерности регулятора по формулам

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_{\text{ср}}} = \frac{2(\omega_0 - \omega_H)}{\omega_0 + \omega_H}$$

или

$$\delta = \frac{n_0 - n_H}{n_{\text{ср}}} = \frac{2(n_0 - n_H)}{n_0 + n_H},$$

где ω_0 , n_0 – угловая скорость в рад / с и частота вращения вала в мин⁻¹, при которой прекращается подача форсунками;

ω_H , n_H – угловая скорость в рад / с и частота вращения вала в мин⁻¹, при которой начинает действовать регулятор.

По результатам опытов построить регуляторную характеристику насоса (рис. 3.1).

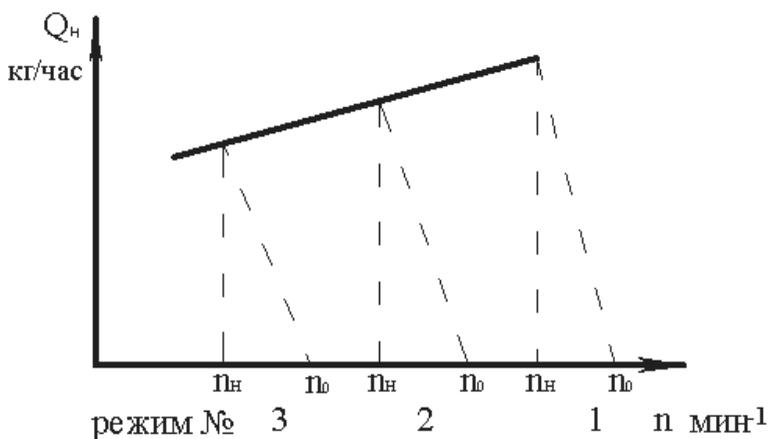


Рис. 3.1. Регуляторная характеристика насоса

Контрольные вопросы

1. Как регулируется начало действия у регуляторов различных типов?
2. При каких оборотах вала насоса происходит прекращение действия пускового обогатителя?
3. Какие факторы влияют на степень неравномерности регулятора?
4. Расскажите методику испытания регулятора на всережимность?
5. Как классифицировать использованный при испытаниях регулятор?
6. Как изменяется степень неравномерности регулятора в зависимости от режима работы транспортного автотракторного дизеля?

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ВСЕРЕЖИМНЫЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Цель работы: изучение конструкции прецизионного всережимного регулятора РНК-4; научные основы уменьшения степени неравномерности и степени нечувствительности, улучшения АЧХ и ФЧХ.

Оборудование рабочего места

Для выполнения лабораторной работы студенту выдаются два учебных топливных насоса двигателя УД-6 в сборе с регулятором РНК-4, причем один из насосов скомпонован с регулятором повышенной точности. Выдаются плакаты, литература с описанием конструкции регулятора, комплект инструмента для работы и сборки конструкции.

Описание схемы регулятора РНК-4

Регулятор РНК-4 применяется для регулирования шестицилиндровых дизелей УД-6, устанавливаемых на экскаваторы, автогрейдеры, дизель-генераторные установки. Он также устанавливается на 12-цилиндровый дизель Д12-375А, применяемый на самосвалах БелАЗ. По классификации это механический, центробежный, всережимный регулятор прямого действия с переменным натяжением пружины.

Кинематическая схема регулятора показана на рис. 4.1.

На конце кулачкового вала топливного насоса устанавливается крестовина 3. В радиальных пазах крестовины (рис. 4.2) установлены шесть шаров 2, являющихся грузами регулятора. С одной стороны шары удерживаются в пазах крестовины неподвижной конусной тарелкой 1, с другой – подвижной плоской тарелкой 4, которая может перемещаться вместе с муфтой 5 по хвостовику крестовины. Переводной рычаг 6 через тягу 8 связан с рейкой 12, а через комплект пружин 10, 11 переводной рычаг связан с рычагом управления 9, который в качестве ограничителей имеет винт 13 упора максимальной и винт 14 упора минимальной частоты вращения.

В процессе работы двигателя при увеличении частоты вращения под действием центробежных сил шары начинают перемещаться по радиусу от оси вращения. Перемещаясь по контуру неподвижной тарелки, шары перемещают вдоль оси подвижную тарелку в сторону уменьшения подачи топлива. При этом преодолевается усилие двух пружин 10, 11. Пружина 11 работает в режиме от 500 до 900 мин⁻¹, а при частоте вращения свыше 900 – работают обе пружины.

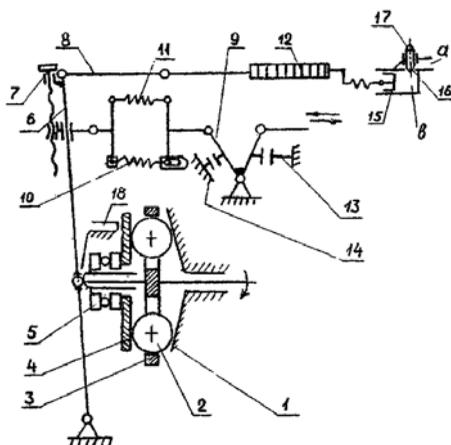


Рис. 4.1. Кинематическая схема регулятора РНК-4 повышенной точности

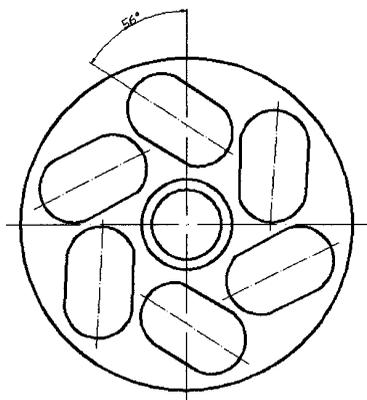


Рис. 4.2. Крестовина с наклонными пазами

Сила пружин перемещает рейку в сторону увеличения подачи топлива при уменьшении частоты вращения. На установившемся режиме работы двигателя центробежные силы шаров уравновешиваются силами растянутых пружин. Скоростной режим двигателя задается положением рычага управления 9.

На дизелях, предназначенных для привода электрогенераторов, устанавливается топливный насос с регулятором повышенной точности. Такой регулятор имеет механизм 7 регулирования степени неравномерности и катаракт (16, 17) или пневматический амортизатор.

Механизм изменения степени неравномерности дает возможность изменять положение подвижной опоры комплекта пружин. В результате этого меняются усилия, необходимые для их растяжения. Ввертывание винта 7 поднимает опору пружин и степень неравномерности увеличивается, при вывертывании винта – уменьшается. Путем регулирования можно изменить степень неравномерности в пределах 2–6 %.

При мягких пружинах регулятора может возникнуть неустойчивость частоты вращения. Для предотвращения этого нежелательного явления применяют катаракт. Назначение катаракта заключается в обеспечении устойчивой работы двигателя на всех режимах за счет плавного передвижения зубчатой рейки. Поршень катаракта 15 связан с рейкой 12 через пружину. Воздушная подушка, образующаяся в полости «в», при движении поршня замедляет движение рейки. Это замедление регулируется. Полость «в» соединяется с полостью «а» через отверстие 16. Проходное сечение отверстия регулируется винтом 17, что позволяет изменить величину сопротивления при входе или выходе воздуха из надпоршневой полости.

В регуляторах повышенной точности, для уменьшения величины скачка частоты вращения, подвижную тарелку делают более массивной, а пазы в крестовине – наклонными. Для уменьшения трения в регуляторе устанавливают маслоподводящий щиток, направляющий масло к плоской тарелке и муфте. Плунжеры топливного насоса имеют дополнительную отсечную кромку, обеспечивающую при меньшем угле поворота плунжеров быстрое изменение подачи топлива.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться по описанию и плакатам с принципом действия всережимного регулятора изучаемого типа. Пользуясь учебным насосом с разрезами, рассмотреть устройство всережимного регулятора. При необходимости сделать разборку регулятора: снять заднюю крышку и корпус регулятора. Снять корпус катаракта, который крепится к корпусу топливного насоса со стороны привода. Изучить устройство катаракта.

При изучении механизма регулирования степени неравномерности составить схему сил, действующих на переводной рычаг регулятора, для крайних положений подвижной опоры комплекта пружин. Определить полный ход рейки топливного насоса непосредственным замером, замерить плечи переводного рычага и рассчитать полный ход муфты регулятора.

Контрольные вопросы

1. Как передается усилие нажатия на переводной рычаг регулятора б ?
2. Каким образом уменьшается трение в паре «сферический упор муфты – переводной рычаг»?
3. Назначение комплекта пружин с переменной предварительной затяжкой.
4. Как регулируются минимальная и максимальная частоты вращения?
5. Каковы конструктивные особенности регулятора повышенной точности?
6. Объяснить принцип работы механизма регулирования степени неравномерности регулятора.
7. Назначение и принцип работы катаракта (пневматического амортизатора).

АВТОМАТИЧЕСКАЯ МУФТА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА

Цель работы: изучение назначения, принципа действия и конструктивных особенностей механических автоматических муфт опережения впрыска топлива (АМОВТ); нарисовать кинематическую схему привода муфты.

Оборудование рабочего места

Для выполнения лабораторной работы студенту выдаются топливный насос высокого давления в сборе с АМОВТ двигателя ЯМЗ-236, детали муфты, а также АМОВТ в сборе двигателя Д-260 Минского моторного завода. Предоставляются плакаты, литература с описанием конструкций АМОВТ, комплект инструмента для разборки и сборки конструкции.

Муфты опережения впрыска топлива устанавливаются на дизельных двигателях и предназначены для автоматического изменения угла начала подачи топлива насосом высокого давления в цилиндры двигателя, в зависимости от частоты вращения, с целью уменьшения удельного расхода топлива на скоростных частичных режимах, улучшения пусковых качеств двигателя, снижения токсичности отработавших газов и уменьшения шума.

Известны различные конструктивные схемы МОВТ: механические, гидромеханические, электромеханические. В этих схемах осуществляется регулируемый угловой сдвиг ведущей полумуфты (привод от коленчатого вала двигателя) относительно ведомой полумуфты (привод на вал ТНВД).

Для регулировки угла опережения впрыска топлива (УОВТ) используют также элементы топливоподающей аппаратуры (косые отсечные кромки на плунжере ТНВД).

В 80-х гг. прошлого века практически опробовано регулирование УОВТ с помощью подвижной втулки, положение которой относительно плунжера ТНВД устанавливается исполнительным механизмом. Введение подвижной отсечной втулки для регулирования УОВТ в сочетании с регулированием подачи топлива с помощью косой отсечной кромки и реечного механизма является наиболее радикальным изменением в конструкции многоплунжерного насоса за последнее десятилетие.

Управление устройствами изменения УОВТ может быть механическое, гидравлическое, электрическое и электронное.

На большинстве зарубежных двигателей и в основном на отечественных двигателях находят применение механические центробежные автоматические муфты опережения впрыска топлива. Функциональная схема такой муфты показана на рис. 5.1.

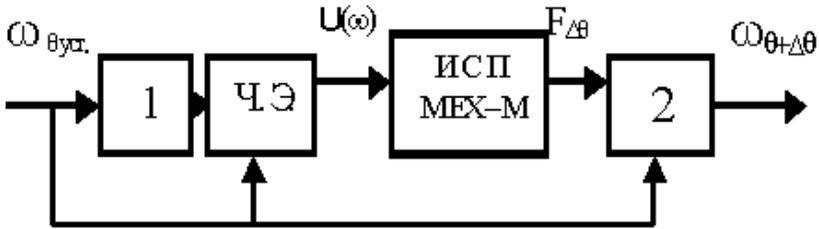


Рис. 5.1. Функциональная схема центробежной АМОВТ:
 1 – ведущая полумуфта; 2 – ведомая полумуфта;
 Ч. Э. – чувствительный элемент

Ведущая 1 и ведомая 2 полумуфты вращаются с одинаковой частотой ω . Конструктивно угловое смещение полумуфты 1 относительно вала ТНВД обеспечивает угол опережения впрыска $\Theta_{уст}$. (установочный угол, определяемый при неработающем двигателе при проворачивании коленчатого вала вручную). При работе двигателя чувствительный элемент центробежного типа обеспечивает управляющее воздействие $U(\omega)$ на исполнительный механизм. Последний своим силовым действием (сила $F_{\Delta\theta}$) смещает полумуфту 2 относительно полумуфты 1 на $\Delta\Theta$ градусов поворота коленчатого вала. Так обеспечивается новый угол впрыска $(\Theta + \Delta\Theta)$ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Исполнительный механизм может конструктивно реализовываться по схеме качающихся грузов (муфта типа ЯМЗ-236) или радиально расходящихся грузов (муфта дизеля Д-265 ММЗ).

Рассмотрим конструкцию АМОВТ с радиально расходящимися грузами, представленную на рис. 5.2.

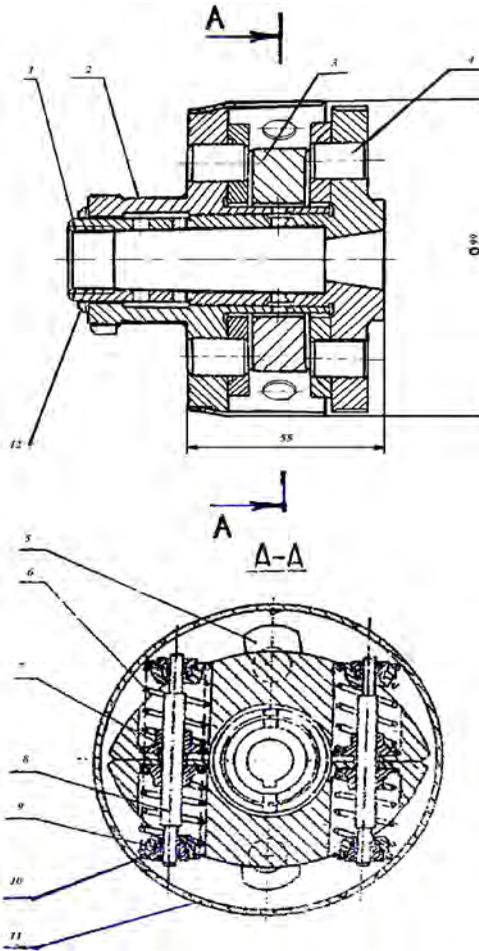


Рис. 5.2. Муфта автоматического опережения впрыска топлива:
 1 – ведомая полумуфта; 2 – ведущая полумуфта; 3 – сегментный груз; 4 – палец;
 5 – сухарь; 6 – пружина сжатия; 7 – тарелка; 8 – шток; 9 – гайка; 10 – тарелка;
 11 – обод; 12 – упорное пружинное кольцо

Каждая МОВТ имеет ведомую полумуфту 1 с конусом для установки на кулачковый вал топливного насоса и ведущую полумуфту 2, свободно сидящую на цилиндрическом хвостовике ведомой.

Между полумуфтами размещается центробежный чувствительный механизм, состоящий из двух противоположно движущихся в

радиальном направлении сегментных грузов 3 с накладными пазами на торцах. Пазы выполнены под углом 8° к направлению перемещения и наклонены в противоположные стороны. Угол между наклонными пазами противоположных торцов грузов составляет 16° .

В каждой из полумуфт запрессованы по два пальца 4. На них свободно сидят четыре сухаря 5, которые входят в наклонные пазы грузов 3. Центробежная сила грузов уравнивается четырьмя пружинами сжатия 6 с тарелками 7 и двумя направляющими штоками 8.

Регулировка диапазона частоты вращения, в котором работает МОВТ, осуществляется с помощью изменения предварительного сжатия пружины 6. Указанная регулировка проводится с помощью четырех гаек 9, имеющих самоконтрение с тарелками 10. Усилие от пружин 6 воспринимается через тарелки 10 гайками 9. Осевое усилие, возникающее при работе, воспринимается упорным пружинным кольцом 12.

Максимальное радиальное расхождение грузов 3 ограничивается ободом.

При повышении частоты вращения увеличивается центробежная сила, развиваемая грузами 1. Наступает момент, когда центробежная сила начинает превосходить усилие предварительного сжатия пружин 6. Грузы 3 начинают расходиться в радиальном направлении, сжимая пружины 6. При этом вследствие наличия в грузах наклонных пазов, по которым скользят сухари 5, связанные с полумуфтами 1 и 2 с помощью пальцев 4, происходит угловое смещение ведомой полумуфты 1 относительно ведущей полумуфты 2. При этом сухари 5 поворачиваются на пальцах 4. Угловое смещение ведомой полумуфты 1 относительно ведущей 2 при повышении частоты вращения приводит к увеличению угла опережения впрыска топлива в цилиндры двигателя. При уменьшении частоты вращения происходит обратная картина. Центробежная сила грузов 3 уменьшается, и они начинают под действием пружин 6 сближаться, разворачивая ведомую полумуфту 1 относительно ведущей 2 в обратном направлении. При этом угол опережения впрыска топлива в цилиндры двигателя уменьшается. На рис. 5.3 показаны два положения

груза муфты: при малых оборотах, когда груз еще не сдвинулся с места, и при максимальных оборотах (показано штриховой линией).

На грузе имеется паз с углом наклона γ . В нем размещается сухарь, связанный с пальцем ведомой полумуфты. Из рисунка видно, что при перемещении груза к периферии на величину Δr_0 ведомая полумуфта оттесняется им в направлении вращения и разворачивается на угол $\theta/2$. При этом ось пальцев, запрессованных в полумуфту, перемещается по дуге радиуса R (расстояние от оси пальца ведомой полумуфты до оси вращения) из точки D в точку A . А так как груз (за счет наклонного паза с другой стороны, связанной с ведущей полумуфтой) при радиальном движении сам разворачивается на угол $\theta/2$ относительно ведущей полумуфты, то для определения суммарного углового смещения ведомой полумуфты относительно ведущей достаточно величину $\theta/2$ удвоить.

На схеме работы муфты показана дуга DA , по которой перемещается палец ведущей полумуфты, и треугольники OAE и ACE , позволяющие обозначить углы $\theta/2$ и γ . Для упрощенного вывода формулы, связывающей θ и Δr_0 , необходимо воспользоваться треугольниками OBD и BCD , если допустить с определенной погрешностью, что центр оси сухаря перемещается не по дуге DA , а по касательной из точки D в точку B . По приближенной схеме

$$\operatorname{tg}(\theta/2) = (\Delta r_0/R) \cdot \operatorname{tg}\gamma$$

Сравнительные расчеты показывают, что разница между углами θ и θ' не превышает 0,5 %.

Для дизеля Д-265.1 с топливным насосом распределительного типа и с длинной топливной трубкой высокого давления 0,625 м установочный угол опережения впрыска топлива принят 14 ± 1 градусов до ВМТ.

АМОВТ изменяет относительное угловое положение полумуфт на 4–5 градусов при номинальной частоте вращения. Диапазон рабочих частот вращения для дизеля Д-265.1 600–2100 мин⁻¹.

Приведенная схема МОВТ обладает следующими качествами, которые учитывались при разработке технического проекта:

а) точки приложения усилий во время работы МОВТ имеют неизменные координаты относительно оси вращения, определяемые координатами пальцев 4 (см. рис. 5.3), запрессованных в полушары 1 и 2. Это обстоятельство позволяет получить заданную для МОВТ величину изменения угла опережения впрыска топлива при небольших значениях угла наклона пазов и хода грузов. В результате были уменьшены по сравнению с аналогами габаритные размеры и масса МОВТ;

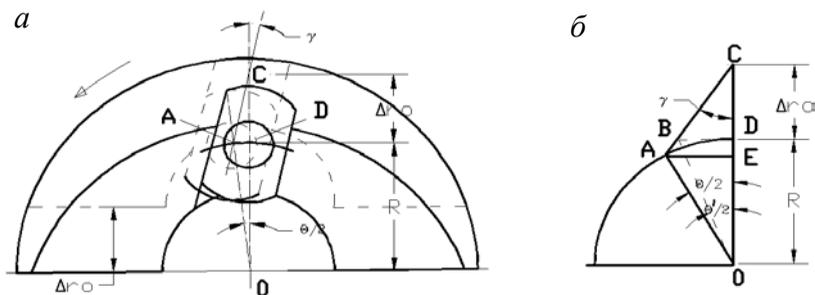


Рис. 5.3. Схема положений груза при работе муфты

б) разработанные по принятой схеме МОВТ обладают само-торможением, что позволяет поддерживать постоянный угол опережения в процессе впрыска топлива в каждый цилиндр двигателя с достаточной точностью.

Муфта ЯМЗ классифицируется как центробежная, автоматическая, механическая с качающимися плоскими грузами (ЦАМОВТ). Функциональная схема ЦАМОВТ показана на рис. 5.4.

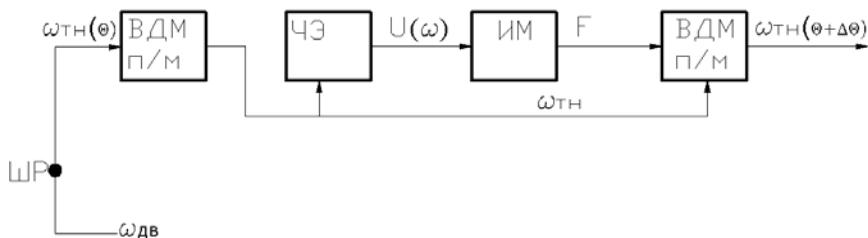


Рис. 5.4. Функциональная схема ЦАМОВТ

Ведущая полумуфта (ВДЩ п / м) приводится от коленчатого вала через шестерни распределения (ШР) и вращается с частотой вращения вала топливного насоса $\omega_{тн}(\theta)$. Специальная регулировка при этом обеспечивает установочный угол опережения впрыска топлива θ . Привод от ведущей полумуфты обеспечивает вращение грузов, представляющих чувствительный элемент (ЧЭ), и ведомую полумуфту (ВДМ п / м). Под действием центробежных сил грузы перемещаются. Перемещение грузов представляет управляющее воздействие $U(\omega)$ от чувствительного элемента (ЧЭ) на исполнительный механизм (ИМ). Под воздействием $U(\omega)$ исполнительный механизм организует силовое воздействие f на (ВДМ п / м) и обеспечивает угловое смещение ведомой полумуфты относительно ведущей на $\Delta\theta$ градусов. Рассмотрим принципы действия исполнительного механизма в муфтах ЯМЗ.

Принципиальная схема муфты приведена на рис. 5.5.

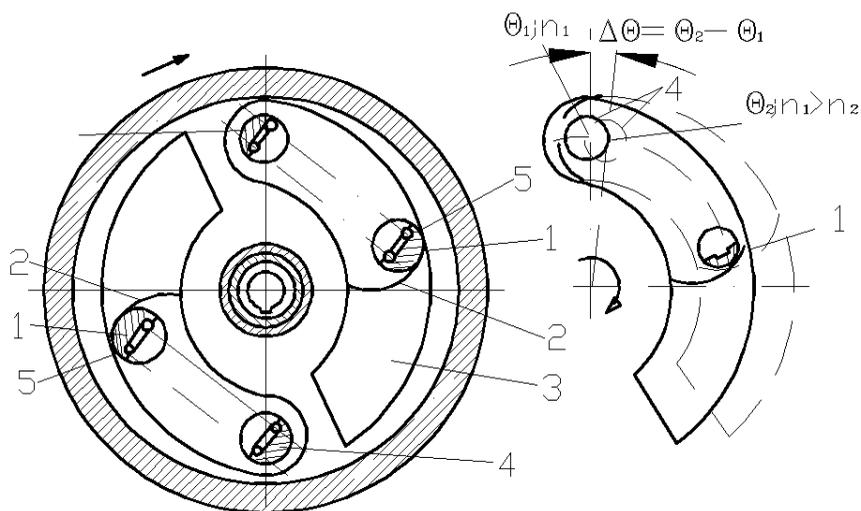


Рис. 5.5. Принципиальная схема ЦАМОВТ с качающимися грузами

Пальцы *1* ведущей полумуфты контактируют с криволинейной поверхностью *2* грузов *3*. Грузы шарнирно установлены на пальцах *4* ведомой полумуфты. Крутящий момент от вала привода передается на ведущую полумуфту, затем через ее пальцы *1* грузам *3* и пальцем *4* ведомой полумуфты, и, наконец, валу топливного насоса. При неработающем насосе пружины *5* перемещают грузы в положение, при котором угол опережения впрыска топлива (УОВТ) имеет наименьшее значение. При увеличении частоты вращения насоса грузы под действием центробежной силы поворачиваются вокруг пальцев *4* ведомой полумуфты. При этом, они скользят своими криволинейными поверхностями *2* по пальцам *1* ведущей полумуфты. Расстояние между пальцами *1* и *4* уменьшается, пружины *5* сжимаются, ведомая полумуфта получает угловое смещение в сторону вращения муфты, что увеличивает УОВТ. При уменьшении частоты вращения пружины разжимаются, грузы сходятся, вызывая уменьшения УОВТ (рисунок 10).

По техническим требованиям ЯМЗ после сборки муфты и ее регулировки на передний торец корпуса наносится цифра *18* или *20*, указывающая угол опережения впрыска топлива, который должен

быть установлен на двигателе с этой муфтой. Наибольшего значения установочный УОВТ ($31-32^\circ$) достигает на двигателях ЯМЗ при максимальной частоте вращения. Диапазон рабочих частот вращения для дизелей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 $500-2200 \text{ мин}^{-1}$.

ЦАМОВТ ЯМЗ устанавливается на переднем конце кулачкового вала ТНВД.

Порядок выполнения работы

С помощью плакатов, заводских инструкций, описаний конструкций ознакомиться с АМОВТ, которые применяются на двигателях ЯМЗ и Минского моторного завода. Пользуясь учебным насосом высокого давления с разрезами, рассмотреть устройство муфты опережения впрыска. При наличии отдельной муфты в сборе произвести ее разборку и сборку. Изучить конструктивные особенности деталей. При изучении работы муфты составить схемы положений грузов для разных скоростных режимов; схемы сил, возникающих в АМОВТ.

Контрольные вопросы

1. Назначение АМОВТ.
2. Конструктивные особенности АМОВТ двигателей ЯМЗ и двигателей ММЗ.
3. В чем состоят конструктивные преимущества АМОВТ с радиально расходящимися грузами?
4. Какие элементы включены в систему ЦАМОВТ?
5. В какую сторону, относительно направления вращения муфты, должна быть смещена ведомая полумуфта при увеличении частоты вращения?
6. Объяснить конструктивные особенности изученных ЦАМОВТ?
7. Как обеспечивается алгоритм функционирования муфты с качающимися грузами и с радиально движущимися?

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВС ПРИ ИСПЫТАНИИ НА СТЕНДЕ

Цель работы: ознакомление с отдельными элементами автоматизации испытаний двигателя на стенде; изучение схем автоматического замера частоты вращения и расхода топлива на испытательном стенде.

Автоматизация замеров и регулирование параметров двигателя при испытаниях сокращает время испытаний, повышает точность замеров, позволяет сократить штат испытателей. Применяемые при этом устройства для автоматического замера расхода топлива, частоты вращения, регулирования теплового режима двигателя, поддержания заданной температуры масла являются также обязательными элементами схем комплексной автоматизации стационарных силовых установок. Для изучения даются схемы замера частоты вращения (рис. 6.1) и замера расхода топлива (рис. 6.3).

На рис. 6.1 дана схема замера частоты вращения вала с помощью электроимпульсного счетчика СБ-1М-50 и реле времени. Импульсы в сети счетчика создаются специальным контактный прерывателем, смонтированным на валу. При нажатии кнопки пуска КП срабатывает реле пуска РП и замыкаются контакты РП₁, РП₂, РП₃; РП₁ дублирует кнопку пуска, РП₂ включает реле времени РВ, РП₃ включает счетчик импульсов СБ-1М-50. Через указанное время замера реле времени размыкает контакты РВ₁ и РВ₂. Электрическая схема приходит в исходное положение. На шкале счетчика отмечается суммарное число замеренных импульсов. При точности отсчета времени $\pm 0,25$ с точность замера числа оборотов за минуту составит около 0,4 %. Релейно-контактную реализацию схемы замера можно преобразовать в бесконтактную (рис. 6.2).

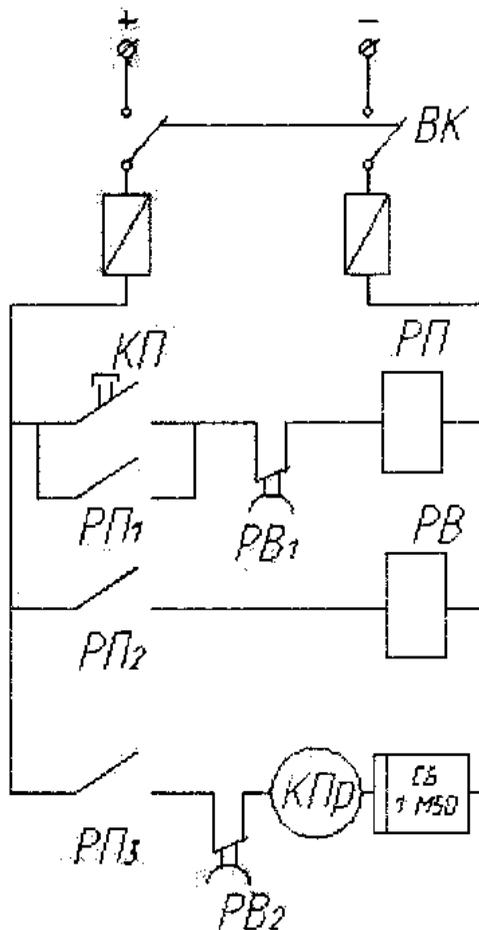


Рис. 6.1. Схема автоматизированного замера частоты вращения вала: КП – кнопка пуска; РП – реле пуска; РВ – реле времени; РП₁, РП₂, РП₃ – контакты реле пуска; РВ₁, РВ₂ – контакты реле времени; СБ-1М50 – счетчик электрических импульсов

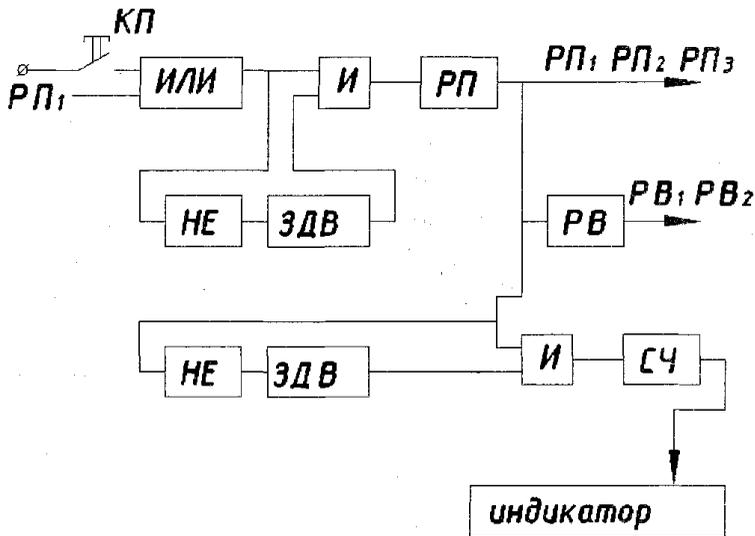


Рис. 6.2. Бесконтактная схема измерения частоты вращения на логических элементах

Составление схемы управления логических элементов требует предварительного анализа релейно-контактной схемы по нижеперечисленным пунктам.

1. Входной сигнал (КП).
2. Промежуточный исполнительный элемент (РП).
3. Промежуточный сигнал (РП1, РП2, РП3).
4. Выходной исполнительный элемент (РВ).
5. Выходные сигналы (РВ1, РВ2).
6. Конечный исполнительный элемент (СБ) (конечный сигнал появляется на счетчике быстроходном).

В операции замера расхода топлива автоматизирован долив топлива в емкость, стоящую на левой чаше весов (рис. 6.3). При опускании правой чашы весов включается концевой выключатель 1КВ, который открывает электромагнитный вентиль ЭВМ. Из топливного бака самотеком поступает в емкость топливо. Выключается электромагнитный вентиль концевым выключателем 2КВ.

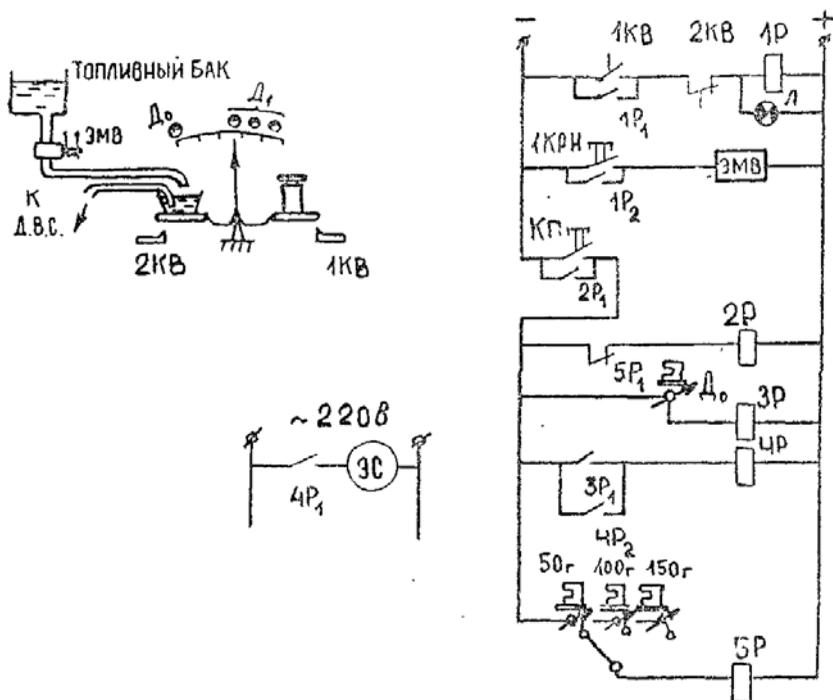


Рис. 6.3. Релейно-контактная схема автоматического замера расхода топлива: КП – кнопка пуска;

2P – реле дублирования «КП»; Д₀ – датчик начала отсчета замера; Д₁ – датчики отметки конца замера; 4P – реле включения электросекундомера ЭС; 5P – реле выключения схемы (конец замера); 1KB, 2KB – конечные выключатели; 1KPH – кнопка ручного наполнения; 1P – исполнительное реле долива топлива из бака

Электросхема замера расхода топлива включается кнопкой пуска КП в момент нахождения стрелки весов левее датчика Д₀. В схеме использованы индуктивные датчики (Д₀, Д₁) отметки начала и конца замера. Датчики срабатывают при прохождении конца стрелки весов в прорези датчика. Время отсчитывается электросекундомером ЭС.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества дает автоматизация стендов для испытания двигателей?
2. Объяснить по схеме работу устройства по автоматизированному замеру частоты вращения и замену релейно-контактной схемы на бесконтактную.
3. С какой целью вводится дублирование кнопки пуска в схемах измерения параметров ДВС?
4. Как осуществляется импульс на фактическое начало и конец измерения при замере расхода топлива?
5. Какова роль контакта $4P_2$ в схеме измерения расхода топлива?

Литература

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учебное пособие / В. П. Автушко [и др.] ; под ред. Н. Ф. Метлюка. – Минск : Вышэйшая школа, 1985. – 302 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания : Системы поршневых и комбинированных двигателей : учеб. / С. И. Ефимов [и др.] ; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Крутов, В. И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания : учеб. / В. И. Крутов. – М. : Машиностроение, 1989. – 416 с.
4. Дизели Д-243, Д-245 и их модификации : руководство по эксплуатации 243-0000100РЭ / Минский моторный завод. – Минск : УГК, 2011. – 80 с.
5. Семенов, В. Н. ТНВД серии УТН. / В. Н. Семенов. – М. : Легион-Автодата, 2000. – 80 с.
6. Васильев, С. В. Автоматизация типовых технологических установок и комплексов : методическое пособие для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной формы обучения / С. В. Васильев. – Минск : БНТУ, 2009. – 43 с.

Содержание

Введение.....	3
Общие указания по выполнению лабораторных работ.....	4
Лабораторная работа № 1 ВСЕРЕЖИМНЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ВНЕШНИМ ПЕРЕМЕННЫМ НАТЯЖЕНИЕМ ПРУЖИНЫ.....	5
Лабораторная работа № 2 ВСЕРЕЖИМНЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ПОСТОЯННОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАТЯЖКОЙ ПРУЖИНЫ.....	9
Лабораторная работа № 3 ИСПЫТАНИЯ ВСЕРЕЖИМНОГО РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДИЗЕЛЯ НА СТЕНДЕ.....	13
Лабораторная работа № 4 ПРЕЦИЗИОННЫЙ ВСЕРЕЖИМНЫЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ.....	18
Лабораторная работа № 5 АВТОМАТИЧЕСКАЯ МУФТА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА.....	22
Лабораторная работа № 6 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВС ПРИ ИСПЫТАНИИ НА СТЕНДЕ.....	31
Литература.....	36

Учебное издание

**УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-37 01 01
«Двигатели внутреннего сгорания»

Составители :

БРЕНЧ Михаил Петрович
ИВАНДИКОВ Михаил Петрович
ПИЛАТОВ Александр Юрьевич

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 06.11.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,21. Уч.-изд. л. 1,73. Тираж 100. Заказ 790.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск