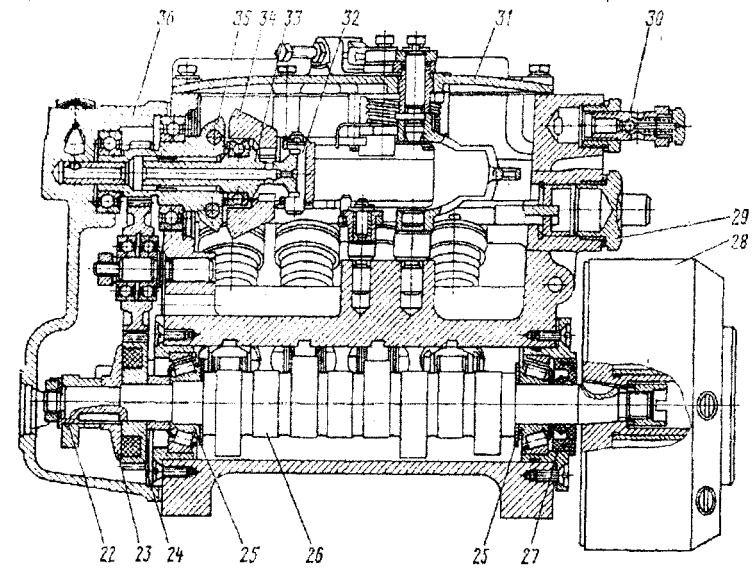


Б.А. Новожилов

**ИСПЫТАНИЯ
ТОПЛИВНОЙ
АППАРАТУРЫ**



Липецк 2004

Министерство образования Российской Федерации

Липецкий государственный технический университет

Кафедра автомобилей и тракторов

ИСПЫТАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Методические указания к лабораторным занятиям
по дисциплине «Тепловые двигатели»
для студентов специальности 15.01.00. «Автомобиле- и тракторостроение»
и 15.02.00. «Автомобили и автомобильное хозяйство»
очного и очно-заочного отделений

Составитель Новожилов Б.А.

Липецк 2004

Новожилов Б.А. Испытания топливной аппаратуры: методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Тепловые двигатели» для студентов специальностей «Автомобилестроение» и «Автомобилестроение и тракторостроение» и, 150200 «Автомобили и автомобильное хозяйство» очного и очно-заочного отделений /Б.А. Новожилов, Липецк: ЛГТУ, 2004. 17с.

Методические указания содержат материалы о целях, задачах и методиках проведения лабораторных работ по испытанию двигателей.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент Казьмин Е.Н.

Испытания агрегатов топливной аппаратуры являются важнейшим этапом их проектирования и доводки. Испытания проводят для экспериментального определения качественных и количественных показателей двигателя при работе топливной аппаратуры на стенде в заданном режиме работы, а также характера и степени изменения параметров рабочего процесса в результате воздействия на двигатель внешних или внутренних факторов.

Основной целью испытаний топливной аппаратуры является определение мощностных и экономических показателей и параметров рабочего процесса в зависимости от одного или нескольких факторов влияния.

Испытания двигателей и их агрегатов регламентируются ГОСТами, в которых указываются условия испытаний, требования к испытательному оборудованию и приборам, методы и правила проведения испытаний, порядок обработки результатов испытаний и вид характеристик.

Порядок оформления отчета по лабораторным работам

Отчет по лабораторной работе выполняется на листах формата А4 с оформлением титульного листа. Каждая лабораторная работа должна иметь следующие разделы:

- номер лабораторной работы;
- наименование лабораторной работы;
- цель работы;
- порядок выполнения работы;
- таблицу (протокол) данных, полученных в результате испытаний;
- характеристику, построенную на миллиметровке;
- анализ характеристики и вывод по работе.

При сдаче лабораторной работы преподавателю студент должен знать все эти вопросы и отвечать на них.

Общие указания к проведению лабораторных работ

Лабораторные занятия проводятся по подгруппам после прохождения инструктажа по технике безопасности с отметкой и подписью студента в соответствующем журнале.

Перед лабораторной работой учебный мастер готовит установку. На каждую подгруппу назначается старший за проведение испытаний, который в последующем следит, чтобы

все студенты за время лабораторных занятий освоили все операции по испытанию топливной аппаратуры. Перед проведением испытаний готовится протокол испытаний (таблица). Студент, ответственный за определяемый параметр, записывает его значение в свою таблицу. Замер и запись производят после установления устойчивого режима и по команде старшего. После фиксирования измеряемых параметров, студенты дают знак старшему о необходимости установления нового режима. После выполнения работы все данные сводятся в одну общую таблицу и проверяются преподавателем, после чего проводится расчет.

Объект испытаний

Объектом испытаний является шестиплунжерный топливный насос высокого давления для двигателя ЯМЗ-236, установленный на стенд СТДА-2 (стенд испытания дизельной топливной аппаратуры).

Лабораторная работа № 1

Характеристика топливного насоса по ходу рейки

Цель работы: установить влияние хода рейки на изменение цикловой подачи топлива;
 определить ход рейки, обеспечивающий подачу топлива при максимальной мощности двигателя ЯМЗ - 236;
 изучить работу плунжерной пары топливного насоса.

Теоретические положения работы

Цикловой подачей называется количество топлива в мг/цикл, поданного плунжером на каждый рабочий процесс.

В процессе работы двигатель испытывает различные нагрузки. С изменением нагрузки должно изменяться количество топлива, впрыскиваемого в цилиндры. Оно регулируется изменением активного хода плунжера при неизменном общем ходе, что достигается поворотом плунжера вокруг его оси (рис.1). При такой конструкции плунжера и гильзы момент начала подачи топлива не зависит от угла поворота плунжера, но количество впрыскиваемого топлива зависит от того объема топлива, которое вытесняется плунжером за время подхода его отсечной кромки к выпускному отверстию гильзы. (Чем позднее открывается выпускное отверстие,

тем большее количество топлива может быть подано в цилиндр.)

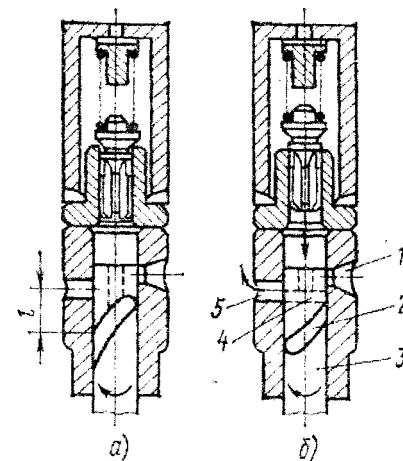


Рис.1. Схема регулирования подачи топлива поворотом плунжера:
 а - максимальная подача, б - подача отсутствует

Таким образом, время подачи, а следовательно, и количество впрыскиваемого топлива, находятся в прямой зависимости от расстояния l (рис.1, а). В показанном положении плунжера расстояние l является наибольшим, что соответствует максимальной подаче топлива и активному ходу плунжера. При меньших нагрузках двигателя требуется меньшее количество топлива. Для этого выдвигают рейку управления плунжерами, поворачивая их в сторону приближения отсечной кромки 2 к сливному отверстию 5 гильзы. Тогда при движении каждого плунжера вверх расстояние l активного хода плунжера уменьшается и в цилиндр впрыскивается меньше топлива.

Если выдвинуть рейку управления плунжерами полностью, они повернутся в положение совпадения канала 4 со сливным отверстием 5 (рис.1, б). В этом случае отверстие 5 будет сообщаться с надплунжерной полостью и при перемещениях плунжера 3 над ним не будет создаваться давление топлива, в результате чего подача топлива прекратится.

В режиме работы двигателя от холостого хода до номинальной мощности рейку перемещает регулятор - этот ход рейки является определяющим параметром насоса, оцениваю-

шим его техническую характеристику. Установление характера изменения цикловой подачи топлива от хода рейки позволяет определить необходимую величину хода рейки и пределы работы регулятора.

Методика выполнения работы

Работа выполняется на топливном насосе, установленном на стенд СДТА-2, при номинальной частоте вращения кулачкового вала насоса ($n = 1050$ об/мин).

Снятие точек характеристики проводят при закреплённом положении рейки. Первый опыт проводят, когда рейка закреплена в положении, соответствующем минимальной подаче топлива (едва заметные капли в мензурке). Это положение рейки принимается за нулевое. В последующих опытах рейку насоса перемещают каждый раз на 2 мм, закрепляют в данном положении и замеряют подачу топлива в мензурках.

Счетчик циклов при опытах устанавливают по заданию преподавателя в пределах 250-500 циклов. Перемещение рейки проводится от нулевого значения до полной подачи. Полученные данные сводятся в протокол испытаний (табл.1).

Таблица 1

Ход рейки h , мм	Количество топлива по секциям, см^3						Средний объем $V_{\text{ср}}$, см^3	Цикловая подача $q_{\text{ц}}$, мг/цикл	Степень неравномерности δ , %
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6			

Неравномерность подачи топлива считается по уравнению

$$\delta = \frac{2(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})}{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}} \cdot 100 \%,$$

где V_{max} и V_{min} - максимальное и минимальное количество топлива по всем секциям при каждом положении рейки.

После обработки результатов испытаний строят характеристику топливного насоса по ходу рейки, выражающую зависимость $q_{\text{ц}} = f(h)$. На рис.2 приведен образец такой характеристики.

Образец анализа характеристики

Из графика видно, что увеличение хода рейки вызывает пропорциональное увеличение цикловой подачи. Это происходит из-за того, что с каждым перемещением рейки происходит изменение положения гильзы, что вызывает увеличение активного хода плунжера.

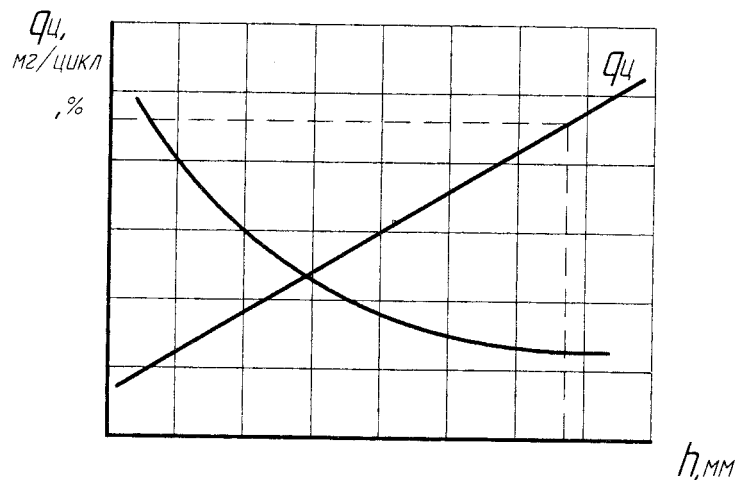


Рис.2. Характеристика топливного насоса по ходу рейки

Необходимо определить точку, соответствующую номинальному режиму работы двигателя, по уравнению

$$q_{\text{ц}} = \frac{G_m \cdot 1,07 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot n \cdot i},$$

где G_m - номинальный часовой расход топлива для двигателя ЯМЗ-236, $G_m = 32$ кг/ч;

1,07 - коэффициент, учитывающий работу топливной аппаратуры в условиях стенда;

n - номинальная частота вращения кулачкового вала насоса, $n = 1050$ об/мин;

i - число секций, $i = 6$.

По полученному значению $q_{\text{ц}}$ определяется ход рейки, обеспечивающий данную цикловую подачу.

Кривая δ показывает, что с увеличением хода рейки неравномерность подачи топлива уменьшается и достигает ми-

нимального значения в зоне номинального хода рейки. Это происходит потому, что регулировку топливного насоса на равномерность обычно проводят для номинального режима. В соответствии с ГОСТ 105578-63 допустимая неравномерность для шестиплунжерного топливного насоса на номинальном режиме лежит в пределах 3-6 % и для холостого хода 35-40 %.

При получении данной неравномерности плунжеры устанавливаются в положениях, различных для всех секций. При последующем их повороте винтовые кромки по-разному изменяют величину активного хода, что, в свою очередь, изменяет количество подаваемого топлива. Кроме того, технологически винтовые кромки выполняются неодинаково точно, что также вызывает различное изменение цикловой подачи для всех видов секций.

Контрольные вопросы

1. Что такое характеристика топливного насоса по ходу рейки?
2. При каких условиях получают характеристику топливного насоса по ходу рейки?
3. Каковы начальная и конечная точки характеристики топливного насоса по ходу рейки?
4. В каком положении находится рейка топливного насоса при получении характеристики?
5. Как изменяется цикловая подача при получении характеристики и почему?
6. Что такое активный ход плунжера?
7. Как изменяется неравномерность подачи топлива по секциям топливного насоса при получении характеристики и почему?
8. Факторы, от которых зависит неравномерность подачи топлива по секциям топливного насоса.
9. Как определяется неравномерность подачи топлива по секциям топливного насоса?
10. Как регулируется неравномерность подачи топлива по секциям топливного насоса?

Характеристика топливного насоса по давлению впрыска топлива форсункой

Цель работы: получить практические навыки по регулировке форсунок по давлению впрыска топлива;

определить влияние давления впрыска топлива форсункой на величину изменения цикловой подачи топлива;

провести оценку технического состояния плунжерной пары.

Теоретические положения работы

Величина давления впрыска определяет дальнобойность факела и степень распыливания топлива. Дальнобойность факела позволяет доставить топливо в самые отдаленные точки камеры сгорания.

Степень распыливания позволяет лучше испарять топливо, перемешивать его с воздухом и более эффективно сжигать. Оба эти фактора находятся в противоречии. Для более полного испарения следовало бы стремиться к минимальному размеру капель, однако при этом резко меняется пробивная способность факела. Поэтому для каждого типа смесеобразования и двигателя, исходя из условий работы, избирается строго определенное давление впрыска, обеспечивающее наиболее экономичную работу двигателя. Для двигателя ЯМЗ - 236 это давление равно $15 \pm 0,5$ МПа. В процессе эксплуатации давление впрыска падает из-за деформации пружины форсунки, износа толкателя и иглы по высоте и уменьшения гидравлической плотности плунжерных пар. Все это вызывает изменение условий работы топливной аппаратуры и уменьшение цикловой подачи топлива с уменьшением мощности двигателя и ухудшением его экономичности.

Методика выполнения работы

До испытания насоса форсунка первого цилиндра снимается со стенда, и на приборе КИ-3333 регулируется давление 5,0 МПа. Затем форсунка устанавливается на стенд и проводится опыт при 1050 об/мин и ходе рейки, соответствующем номинальному режиму (данные берутся из лаб. раб. №1). Для уменьшения объема работы изменение давления впрыска проводится у одной форсунки. Повышая в по-

следующем давлении впрыска через каждые 2,5 МПа до 25 МПа и измеряя производительность секции при этом, выполняют все остальные опыты. Данные замеров при каждом опыте записывают в протокол испытаний (табл.2).

Таблица 2

Давление впрыска P_{ϕ} , МПа	Производительность секции V , см ³	Цикловая подача $q_{ц}$, мг/цикл

По результатам замеров строят характеристику топливного насоса $q_{ц}=f(P_{\phi})$ (рис.3).

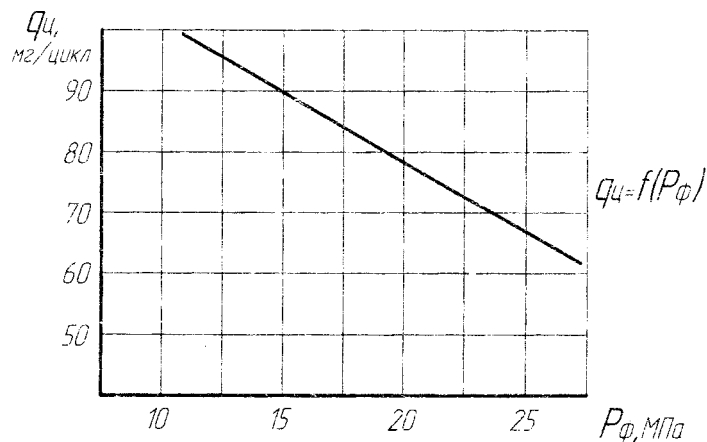


Рис.3. Характеристика топливного насоса по давлению впрыска топлива форсункой

Образец анализа характеристики

Из характеристики видно, что с увеличением давления впрыска происходит уменьшение $q_{ц}$ в среднем на 0,01 мг/цикл на каждые 2 МПа. Это происходит из-за увеличения прохождения топлива через зазоры в плунжерной паре, в игле распылителя форсунки и сжимаемости топлива. Из кривой $q_{ц}=f(P_{\phi})$ следует, что при $P_{\phi}=15$ МПа величина составляет 90 мг/цикл, что соответствует параметрам подачи топлива для двигателя ЯМЗ-236 на максимальной мощности.

Оценка технического состояния (степень износа) плунжерной пары определяется по степени уменьшения цикловой подачи при увеличении давления P_{ϕ} с 15 МПа до 17,5 МПа с помощью уравнения

$$\delta_{q_{ц}} = \frac{q_{15} - q_{17,5}}{q_{ц}} \cdot 100 \%,$$

$$q_{ц} = \frac{q_{15} + q_{17,5}}{2} - \text{средняя цикловая подача.}$$

Если $\delta_{q_{ц}}$ лежит в пределах 10...13 %, то состояние плунжерной пары удовлетворительное, если больше, то её необходимо заменить.

Контрольные вопросы

1. Что такое характеристика топливного насоса по давлению впрыска топлива форсункой?
2. При каких условиях получают характеристику топливного насоса по давлению впрыска топлива форсункой?
3. Каковы начальная и конечная точки характеристики топливного насоса по давлению впрыска топлива форсункой?
4. В каком положении находится рейка топливного насоса при получении характеристики?
5. Как изменяется цикловая подача при получении характеристики и почему?
6. Что такое гидравлическая плотность плунжерной пары?
7. Перечислите основные типы смесеобразования в дизелях.
8. Исходя из каких условий выбирается давление впрыска топлива форсункой?
9. Назовите два основных типа форсунок, величину и способ регулирования давления впрыска.
10. Факторы, влияющие на сохранение заданного давления впрыска при эксплуатации.
11. Как определяется степень износа плунжерной пары ТНВД?

Скоростная характеристика топливного насоса с регуляторной ветвью

Цель работы: изучить устройство и работу регулятора топливного насоса;
определить изменение цикловой подачи топлива при различных частотах вращения кулачкового вала насоса при управлении рейкой насоса регулятором;
выявить влияние корректора на цикловую подачу топлива.

Теоретические положения работы

Скоростной характеристикой топливного насоса с регуляторной ветвью называется зависимость цикловой подачи топлива от частоты вращения кулачкового вала насоса при управлении рейкой насоса регулятором. На рис.4 показана общая компоновка и схема работы всережимного регулятора дизеля ЯМЗ-236.

Грузики 6 шарнирно закреплены здесь на державке 16, посажены на вал 15 регулятора и вместе с ним вращаются в шарикоподшипниках. Рычаги грузиков 6 снабжены роликами, на которые опирается подвижная муфта 5, шарнирно связанная с серьгой 4 и рычагом 27 управления рейкой 20 насоса. Верхнее плечо рычага 27 звеном 21 соединено с рейкой 20 и нагружено стартовой пружиной 22, а нижнее плечо с помощью пальца 3 соединено с кулисой 2 скобы 9 выключения подачи топлива.

Регулятор управляется рычагом 11 посредством тяги, соединяющей его с педалью управления в кабине водителя. Рычаги 11 и 23 закреплены на общей оси 10. Рычаг 23 нагружен пружиной 24, второй конец которой соединен с двумя плечим рычагом 26. Совместно с рычагом 26 на оси 25 подвешен силовой рычаг 29 регулятора, причем взаиморасположение их определяется регулировочным винтом 28. Предварительно натянутая пружина 24 поджимает силовой рычаг к подвижной муфте 5, на торец которой опирается встроенным в него корректором (демпфером) 32.

Для увеличения подачи топлива рычаг 11 перемещают в сторону болта 12, а для уменьшения - в сторону болта 13.

Привод регулятора осуществляется от кулачкового вала насоса шестернями 8 и 14, сообщающими ускоренное вращение валу 15. Чтобы предохранить детали регулятора от перегрузки в случаях резкого изменения угловой скорости, в соединительном устройстве вала с шестерней 8 предусматривают упругую связь. Ускоряющие передачи с упругим элементом в приводе повышают работоспособность регуляторов и поэтому широко используются.

При вращении вала 15 регулятора грузики под действием возникающей центробежной силы расходятся, и ролики перемещают муфту 5, а следовательно, рычаг 27 и рейку 20 насоса вправо в сторону уменьшения подачи, тогда как пружины 22 и 24, смещающие всю рычажную систему в сторону увеличения подачи, препятствуют этому. В результате перемещение рейки 20 вправо происходит только до тех пор, пока центробежная сила, развиваемая грузиками, не уравновешена усилиями пружин 22 и 24, после чего рейка занимает вполне определенное положение.

Вполне очевидно, величина перемещения муфты 5 и рейки 20 вправо будет уменьшаться по мере увеличения степени натяжения пружины 24 регулятора путем смещения рычага 11 в сторону большей подачи (к ограничительному болту 12). Так, перемещая рычаг 11 и изменяя этим натяжение пружины 24 регулятора, удается поддерживать любое равновесное состояние в системе, а следовательно, и нужную частоту вращения вала в допускаемых пределах.

Пусть, например, рычаг 11 установлен в среднее положение между ограничительными болтами, как показано на рис.3, и вал двигателя вращается с определенной скоростью, установившейся при данной нагрузке. В случае возрастания нагрузки частота вращения вала двигателя снижается, вследствие чего уменьшается скорость вращения грузиков и развиваемая ими центробежная сила. Грузики начинают сходиться, а рычажная система усилием пружин 22 и 24 будет перемещать рейку насоса в сторону увеличения цикловой подачи, как показано сплошными стрелками на схеме. В результате этого обороты вала двигателя вновь возрастут до заданных при новой нагрузке и т. д. Нарушенный скоростной режим регулятор восстанавливает в пределах ± 30 об/мин.

Резкие изменения подачи топлива сглаживаются буферной пружиной винта 30 и отчасти демпфером 32. Винты 30 и 1

ограничивают перемещение рейки 20 и соответственно кулисы 2 при настройке насоса, а винт 28 служит для изменения степени исходного натяжения пружины 24 регулятора.

Минимальная частота вращения на холостом ходу составляет 450-550 об/мин и регулируется болтом 13 и винтом 30, снабженным контргайкой, а максимальная - 2225...2275 об/мин и регулируется болтом 12. При выключении подачи топлива скоба 9 тросиком с места водителя поворачивается по часовой стрелке на 45° в положение «стоп».

При максимальной мощности (при $n=2100$ об/мин) рычаг 11 упирается в болт 12, пружина корректора 32 при этом деформируется, и перемещение силового рычага 26 в сторону увеличения подачи топлива блокируется регулировочным болтом 31 (его головка упирается в ось 10).

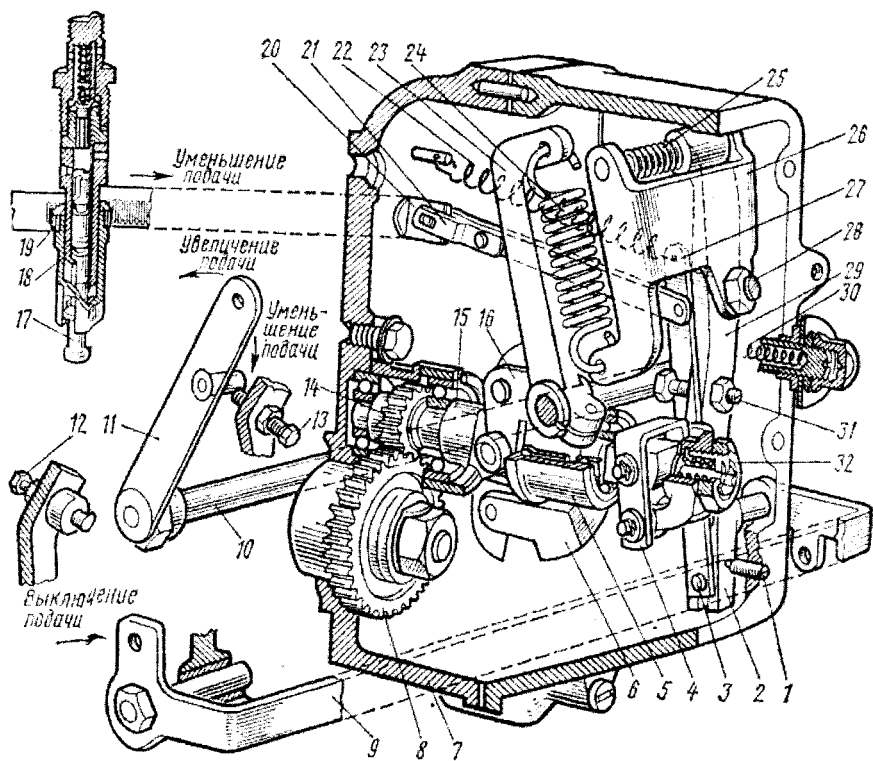


Рис.4. Схема устройства и работы регулятора

Увеличение нагрузки на двигатель вызывает уменьшение частоты вращения и, соответственно, уменьшение давления муфты 5 на упор корректора 32, пружина которого совместно со стартовой пружиной 22 рычага рейки перемещает последнюю влево в сторону увеличения цикловой подачи.

Участок кривой $Q_{ц}=f(n)$ от холостого хода (рис.5) до $n_{ном}$ называется регуляторной характеристикой, а после $n_{ном}$ - корректорной или внешней характеристикой.

Методика выполнения работы

С помощью рычага управления подачи топлива устанавливается максимальная подача топлива. Запускается стенд и устанавливается частота вращения (1120...1150 об/мин), при которой и проводят первый опыт. В дальнейшем частота снижается на каждые 20 об/мин до 1050 об/мин, а после на 100 об/мин до $n=400$ об/мин. После этого устанавливают 1050 об/мин и при закрепленной рейке через каждые 100 об/мин до 400 об/мин определяют характеристики без действия регулятора. Полученные данные заносим в протокол испытаний (табл.3).

Таблица 3

Частота вращения n , об/мин	Производительность секций, см ³						Средняя производительность $V_{ср}$, см ³	Цикловая подача $Q_{ц}$, мг/цикл
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6		

На основании полученных данных строится регуляторная характеристика (рис.5).

Образец анализа характеристики

Из полученной характеристики видно, что регуляторная характеристика расположена между $n_{х.х.мах}=1130$ об/мин и $n_{ном}=1060$ об/мин с увеличением цикловой подачи с 10 мг/цикл до 80 мг/цикл.

Коэффициент неравномерности работы регулятора определяется из уравнения

$$\delta = \frac{2(n_{x.x.max} - n_{ном})}{n_{x.x.max} + n_{ном}} \cdot 100\%$$

и не должен превышать 6...8 %.

Внешняя характеристика лежит в пределах 1050 об/мин - 400 об/мин. Действие корректора позволяет увеличить цикловую подачу при $n=800...1000$ об/мин на 10-15 мг/цикл при максимальном значении $q_{ц}=100$ мг/цикл при $n=700$ об/мин.

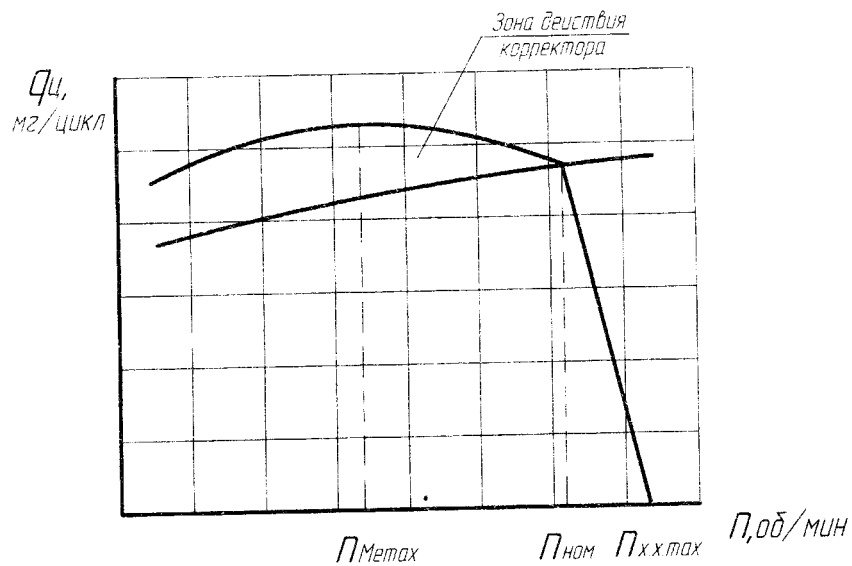


Рис 5. Снятие характеристики топливного насоса

Действие корректора позволяет определить коэффициент приспособляемости двигателя к преодолению возросших сопротивлений трактору без перехода на низшую передачу

$$K = \frac{q_{ц max}}{q_{ц ном}} = [1,15...1,20]$$

Для оценки динамических свойств дизелей определяют корректорный коэффициент запаса цикловой подачи топлива

$$\mu_k = \frac{q_{ц max} - q_{ц ном}}{q_{ц ном}} \cdot 100\%$$

Контрольные вопросы

1. Что такое скоростная характеристика топливного насоса с регуляторной ветвью?
2. При каких условиях получают скоростную характеристику топливного насоса с регуляторной ветвью?
3. Каковы характерные точки характеристики топливного насоса с регуляторной ветвью?
4. В каком положении находится рейка ТНВД при получении скоростной характеристики с регуляторной ветвью?
5. Как изменяется цикловая подача топлива при получении характеристики и почему?
6. Укажите на характеристике регуляторную и корректорную ветви и объясните работу регулятора ТНВД в момент перехода с одной ветви на другую.
7. Укажите на схеме пусковую, корректорную и регуляторную пружины.
8. Каким образом регулируется максимальная и минимальная подача топлива топливным насосом?
9. Что такое корректорный коэффициент запаса цикловой подачи топлива?
10. Каким образом корректируется коэффициент запаса цикловой подачи топлива?

Библиографический список

1. Автомобильные двигатели/С.Н.Богданов, М.М.Буренков, И.Е.Иванов. - М.: Машиностроение, 1987. 368с.
2. Испытание двигателей внутреннего сгорания/И.Я.Райков. - М.: Высшая школа, 1975. 320с.
3. Испытание двигателей внутреннего сгорания/Б.С. Стефановский, Е.А.Скобцов и др.- М.: Машиностроение, 1972. 368с.
4. Практикум по автотракторным двигателям/Г.И.Трубников. - М.: Колос, 1975. 192с.
5. Расчет автомобильных и тракторных двигателей/ А.И.Колчин, В.П.Демидов - М.: Высш. шк., 2002.- 496с.
6. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей/ А.В.Николаенко. - М.: Колос, 1984. 335с.
7. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей/ Ю.В.Буралев, О.А.Мартиров, Е.В.Кленников. - М.: Высш. шк., 1987.- 288с.

ИСПЫТАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Тепловые двигатели» для студентов специальностей 150100 «Автомобиле- и тракторостроение», и 150200 «Автомобили и автомобильное хозяйство» очного и очно-заочного отделений

Составитель Борис Анатольевич Новожилов

Редактор Т.М.Курьянова

Подписано в печать 2.03.2004г. Формат 60X84 1/16.

Бумага офсетная.

Ризография. Печ.л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № 157.

Липецкий государственный технический университет.

398055 Липецк, ул. Московская, 30.

Типография ЛГТУ. 398055 Липецк, ул. Московская, 30.