

**Л. Я. Волчок, А. М. Ларин**

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВПРЫСКА ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ**

За последние годы нашел широкое применение аналитический метод исследования работы топливной аппаратуры дизелей с использованием электронновычислительной техники. Применение этого метода позволяет сравнительно легко и с малой затратой времени исследовать влияние различных параметров (размеров и формы основных элементов аппаратуры, противодавления, числа оборотов, свойств топлива и т. д.) на протекание рабочего процесса топливной аппаратуры.

Однако этому методу свойственна сравнительно низкая степень достоверности полученных результатов. Это является следствием приближенности исходных уравнений, практической невозможности учета всех факторов, влияющих на процесс топливоподачи, и недостаточности знания зависимостей физических свойств реальных топлив от температуры и давления.

В связи с этим аналитический метод исследования рабочего процесса топливной аппаратуры дизелей целесообразно применять для получения первого приближения, что позволит сузить задачу исследования.

Окончательное решение задачи следует выполнять опытным путем.

Правильное сочетание обоих методов позволяет решать задачи с минимальной затратой труда, времени и материальных средств. При этом степень достоверности окончательных результатов в основном определяется совершенством экспериментального метода исследования. Отсюда вытекает важность развития и совершенствования этого метода исследования работы топливной аппаратуры дизелей.

В настоящей работе рассматривается установка для исследования топливной аппаратуры дизелей на безмоторном стенде, позволяющая определять с высокой степенью точности следующие параметры рабочего процесса: фазы впрыска (начало, конец и про-

должительность впрыска), диаграммы давления и подъема иглы распылителя, дальнобойность и геометрия факела топлива при впрыске в среду без противодействия.

Фазы впрыска на работающем двигателе обычно определяют по осциллограмме подъема иглы распылителя [1, 2]. Если при испытании двигателя его осциллографирование не производится, то угол опережения впрыска топлива находят с помощью контактного устройства на форсунке, которое размыкается в момент начала подъема иглы.

При индицировании двигателя электропневматическим индикатором контактное устройство включают в электрическую цепь на место датчика давления, и на индикаторную диаграмму наносится (пробивается искрами) вертикальная линия начала впрыска. Расстояние от нее до линии верхней мертвой точки (ВМТ), пересчитанное в градусах поворота коленчатого вала, выражает угол опережения впрыска.

Контактное устройство позволяет осуществить визуальный отсчет угла опережения впрыска, основанный на стробоскопическом принципе. Для этого контактное устройство включают в первичную цепь катушки высокого напряжения. Искра, возникающая в особом разряднике в момент размыкания контакта, т. е. в начале подъема иглы, освещает систему, состоящую из круговой градусной шкалы и стрелки, вращающейся вместе с валом двигателя. Стробоскопический эффект позволяет видеть стрелку неподвижной в положении, соответствующем началу подъема иглы форсунки. Угол опережения впрыска топлива отсчитывается по положению стрелки относительно неподвижной круговой шкалы.

Аналогичное устройство может быть выполнено с помощью газоразрядной (неоновой) лампы. Только в этом случае контактное устройство в момент начала подъема иглы должно замыкать цепь.

На безмоторных стендах для испытания топливной аппаратуры угол опережения впрыска определяется с помощью стробоскопических устройств двоякого типа.

Эти устройства включают светоимпульсный стробоскоп, управляемый (синхронизируемый) с помощью контактной системы. Светоимпульсный стробоскоп представляет собой электронный генератор высоковольтных импульсов, вызывающих кратковременные вспышки особой газосветной (импульсной) лампы. Частота вспышек лампы и их фаза по отношению к наблюдаемому периодическому процессу задается контактной системой, управляемой самим процессом.

В одних стробоскопических устройствах (стенд СДТА-1) контакт замыкается под действием вытекающей из форсунки струи топлива. В этом случае импульсная лампа стробоскопа помещается позади диска, вращающегося вместе с кулачковым валом насоса. Диск имеет узкую радиальную щель. Периодические вспышки

лампы стробоскопа позволяют видеть светящуюся щель неподвижной. Положение щели относительно неподвижной круговой шкалы выражает угол опережения впрыска.

В других стендах (например, в стенде чехословацкой фирмы «Моторпал») управление стробоскопом осуществляется контактным устройством со скользящими щетками на приводном валу стенда. Контактное устройство замыкается один раз за оборот вала. Момент замыкания (фазу) можно изменять угловым смещением щеток. Импульсную лампу укрепляют так, чтобы она освещала распылитель и вытекающую из него струю. Во время опыта контактные щетки смещают в нужном направлении до тех пор, пока не будет наблюдаться появления струи из сопла, что и принимается за начало впрыска. При этом положении контактных щеток производится отсчет угла опережения впрыска по круговой шкале (лимбу).

Из перечисленных методов только осциллографирование позволяет определять начало и конец, а следовательно, и продолжительность впрыска; все другие способы служат для определения только угла опережения впрыска.

Наиболее точно угол опережения впрыска можно определить стробоскопическим методом по появлению струи топлива из распылителя, как это сделано в стенде «Моторпал».

Погрешности в определении фаз впрыска по осциллограмме подъема иглы форсунки обусловлены в основном тем, что начальный период подъема и конец посадки иглы протекают сравнительно плавно и поэтому на осциллограмме выражены недостаточно четко. Погрешность возникает также из-за малого масштаба осциллограммы по оси ординат: один градус угла поворота коленчатого вала обычно не превышает 0,5—0,3 мм длины осциллограммы.

При определении угла опережения впрыска топлива с помощью контактного устройства, управляемого иглой, погрешность возникает вследствие неизбежного зазора в контактном устройстве. По этой причине контакт размыкается только при подъеме иглы на 0,1—0,2 мм, т. е. с некоторым запаздыванием.

Запаздывание имеет место и в стробоскопической системе с контактным устройством, управляемым струей вытекающего топлива, и обусловлено следующим: для преодоления силы инерции и упругости подвижной части контакта струя топлива должна обладать достаточным импульсом силы, что приобретает через некоторое время после начала впрыска.

Для изучения закона развития факела впрыскиваемого топлива и определения его геометрических размеров применяются такие методы: единичное моментальное фотографирование, фоторазвертка, скоростная киносъемка и стробоскопическое наблюдение и фотографирование факела. Изучение факела топлива производят при

впрыске его непосредственно в камеру сгорания специального экспериментального двигателя, в бомбу с противодавлением и в камеру с атмосферным давлением.

В первых двух случаях применяют единичное фотографирование, фоторазвертку или скоростную киносъемку. Этими методами фиксация факела осуществляется при однократном впрыске топлива.

Стробоскопический метод изучения факела топлива можно применять только при непрерывной работе топливной аппаратуры. При этом для сохранения видимости факела необходимо осуществлять продувку камеры, куда производится впрыск, чтобы удалить распыленное топливо. Такая продувка возможна только в камере с атмосферным давлением. В экспериментальном двигателе продувка камеры осуществляется автоматически в каждом цикле, но видимость факела теряется из-за оседания на прозрачные стенки камеры капелек топлива и сажи, да и длительная работа экспериментального двигателя практически недопустима.

Стробоскопический метод невозможно применять при впрыске топлива в среду с противодавлением, что является его существенным недостатком. Исследование законов развития факела топлива при впрыске в атмосферу имеет сравнительный характер, что, однако, не относится к другим результатам, получаемым при подобных исследованиях (например, к фазам впрыска).

В основу созданной установки положен стробоскопический метод исследования как наиболее простой и допускающий возможность не только фотографирования, но и визуального наблюдения факела. Установка создана на базе стенда СДТА-1 для испытания и регулировки топливной аппаратуры. Она состоит из стенда с установленным на нем топливным насосом, камеры для впрыска топлива с вытяжной системой для ее вентиляции, светоимпульсного стробоскопа с импульсной лампой, электронного двухлучевого осциллографа с датчиками давления и хода иглы форсунки, контактного и синхронизирующего устройств (рис. 1).

В стенках камеры имеются два окна: в боковой — для освещения факела топлива импульсной лампой и в передней — для наблюдения и фотографирования факела. В камере рядом с распылителем закреплена масштабная линейка длиной 50 мм. Линейка, фотографируемая вместе с факелом, позволяет определять натуральный размер факела по снимку, отпечатанному в произвольном масштабе. Внутренние стенки камеры окрашены черной краской.

Для освещения факела применяется светоимпульсный стробоскоп марки LS911 (ГДР).

Вентиляция камеры производится при помощи вентилятора радиального типа. Приток воздуха в камеру происходит через ряд отверстий в верхней стенке камеры, на которой закреплена форсунка.

Контактное и синхронизирующее устройство (рис. 2) служит для синхронизации работы стробоскопа и осциллографа с работой топливного насоса и нанесения на экран осциллографа отметок масштабного угла поворота вала насоса, а также для определения углов начала и конца впрыска и угла, соответствующего фотографуемой фазе впрыска. Оно состоит из двух текстолитовых дисков, посаженных на приводной вал стэнда, и четырех пар пластинчатых контактов.

Одна пара контактов 2 служит для синхронизации стробоскопа. Ее можно перемещать по кольцевому кронштейну 1, что позволяет

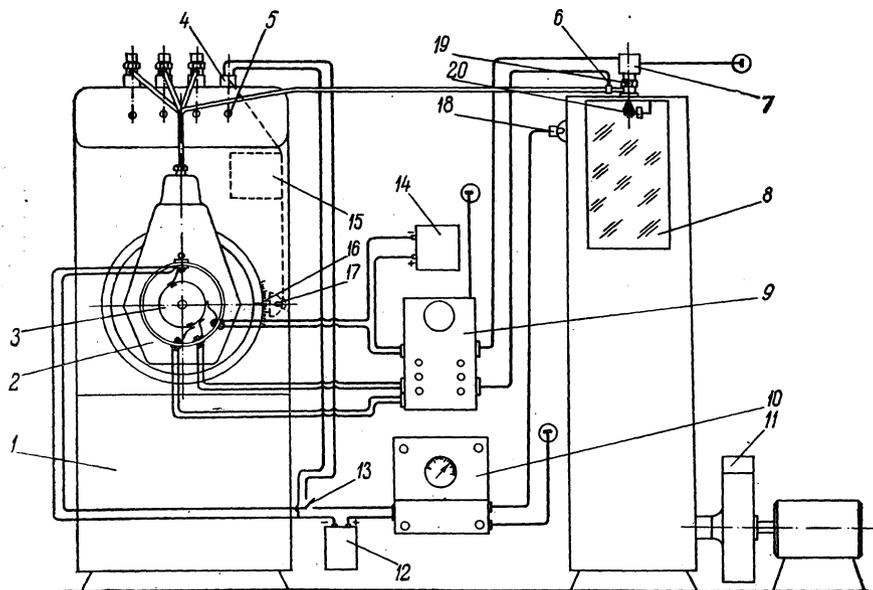


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — стэнд СДТА-1; 2 — топливный насос; 3 — синхронизирующее устройство; 4 — датчик стэнда; 5 — выключатель датчика; 6 — пьезокварцевый датчик давления; 7 — фотоэлектрический датчик хода иглы; 8 — камера; 9 — осциллограф; 10 — стробоскоп; 11 — вытяжная система; 12, 14, — батареи сухих элементов; 13 — переключатель; 15 — стробоскоп стэнда; 16 — щель вращающегося диска; 17, 18 — лампы стробоскопов; 19 — форсунка; 20 — масштабная линейка.

освещать струю в любой фазе ее развития. Отсчет угла поворота кулачкового вала насоса, соответствующего наблюдаемой или фотографуемой фазе развития факела, можно производить двояким путем. В одном случае импульсную лампу стробоскопа по окончании наблюдения или фотографирования факела переносят на стэнд и освещают его вращающийся диск со щелью и неподвижную круговую шкалу. По положению щели относительно шкалы

определяют угол. Однако операция переноса лампы сопряжена с рядом неудобств и со значительной потерей времени. Во втором случае отсчет угла производится с помощью стробоскопа самого стенда. Для этого контакт переключается рубильником 13 (см. рис. 1) на стробоскоп стенда вместо датчика 4 определения угла опережения впрыска соответствующей секции топливного насоса.

Три другие пары контактов закреплены на кронштейне неподвижно и скользят по второму текстолитовому диску. Первая (по направлению вращения диска) пара контактов 8 (см. рис. 2) обес-

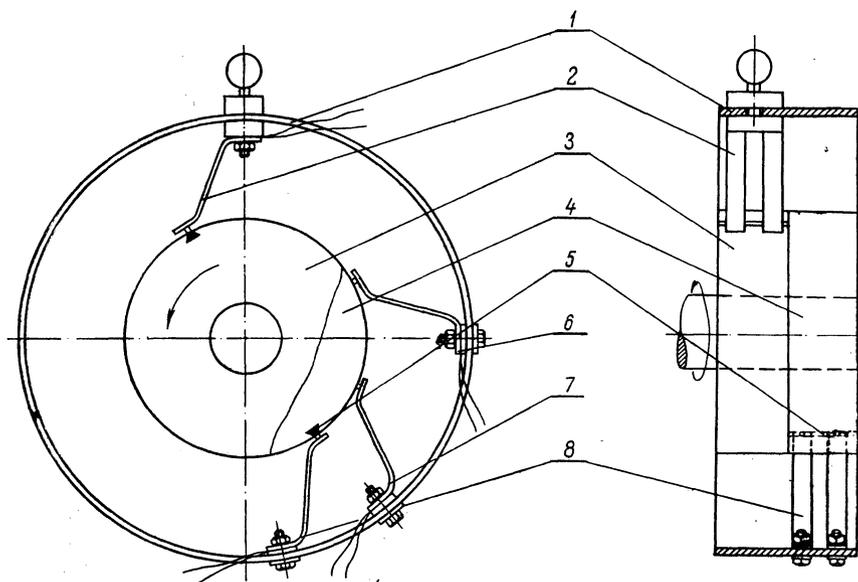


Рис. 2. Схема контактной системы синхронизирующего устройства:

1 — кольцевой кронштейн; 2, 6, 7, 8 — пружинные контакты; 3, 4, — текстолитовые диски; 5 — контактная пластина.

печивает синхронизацию работы электронного осциллографа. Две следующие 7 и 6 отстоят друг от друга на  $50^\circ$  и служат для нанесения на диаграмму давления отметок масштабного угла. Положение контактной пластины 5 на диске выбирается так, что диаграмма давления в топливопроводе размещается между отметками масштабного угла. Это позволяет, регулируя генератор развертки осциллографа, получать диаграмму давления в сильно растянутом виде, т. е. с большим угловым масштабом.

Фазы впрыска определяют по началу появления струи из распылителя (начало впрыска) и моменту отрыва ее от распылителя (конец впрыска). Момент на диаграмме давления, соответствующий

щий наблюдаемой фазе впрыска, определяется по отметке на диаграмме, появляющейся в результате помехи от импульсного разряда лампы стробоскопа.

Фотографирование топливного факела производилось зеркальной фотокамерой, укрепляемой на откидном кронштейне.

Для регистрации давления впрыска применяется пьезоэлектрический датчик, а для получения диаграммы подъема иглы — фотоэлектрический датчик конструкции ЦНИТА [2]. Оба датчика работают совместно с двухлучевым осциллографом венгерской фирмы «Орион».

Испытание установки производилось на топливоподающей аппаратуре, состоявшей из насоса высокого давления 4ТН 8,5×10 и форсунок с тремя типами штифтовых распылителей: № 1 (РШ6×2, 5×25), № 2 (РШ6×2×(-5)) и № 3 (чехословацкого производства).

Испытание проводилось на четырех скоростных режимах в пределах от 400 до 1000 *об/мин* при давлении впрыска 125 *кГ/см<sup>2</sup>*.

На каждом режиме фотографировался топливный факел: в начальный момент впрыска, затем через каждые 2 градуса поворота кулачкового вала и в момент окончания впрыска (рис. 3). По снимкам определялись длина и угол конуса факела.

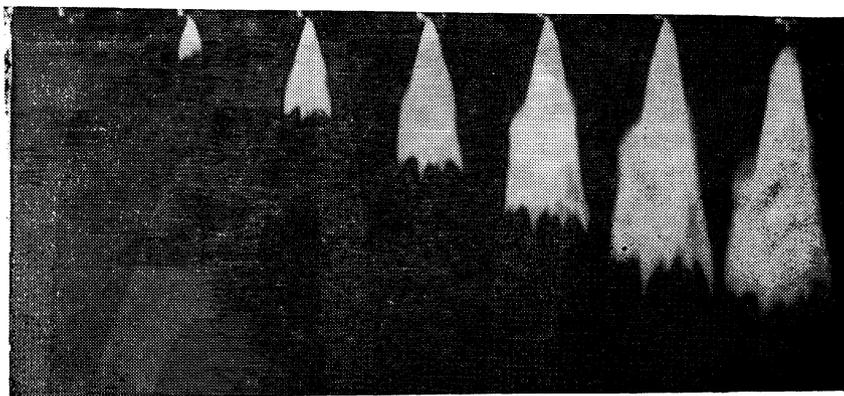


Рис. 3. Фотографии топливного факела через 2° поворота вала насоса при 1000 *об/мин*.

Во время опытов производилось также измерение цикловой подачи. При всех распылителях она оказалась одинаковой: возрастала почти линейно с ростом числа оборотов с 55 до 65 *мм<sup>3</sup>/цикл* при увеличении числа оборотов от 400 до 1000 *об/мин*, что является закономерным для насосов золотниковой типа (рейка насоса была зафиксирована и поэтому корректор подачи бездействовал).

Из рис. 4 видно, что начало впрыска запаздывает относительно геометрического начала подачи, конец впрыска запаздывает относительно отсечки, а действительная продолжительность впрыска, выраженная в градусах угла поворота кулачкового вала, больше теоретической. Запаздывание начала и конца впрыска топлива при

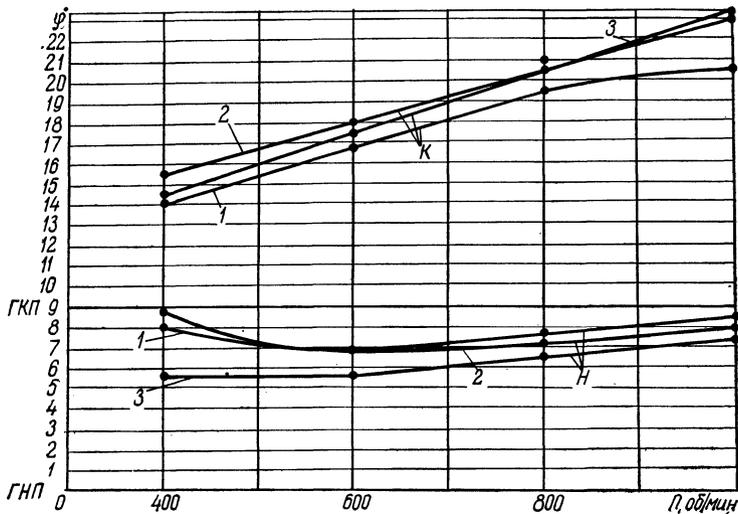


Рис. 4. Графики зависимости фаз впрыска от числа оборотов кулачкового вала:

H — начало впрыска; K — конец впрыска; ГНЦ — геометрическое начало подачи (момент закрытия впускного окна); ГКП — геометрический конец подачи (момент начала открытия отсечного окна); 1, 2, 3 — номера распылителей.

повышении числа оборотов увеличивается с преобладанием запаздывания конца впрыска, в результате чего возрастает его продолжительность (рис. 5).

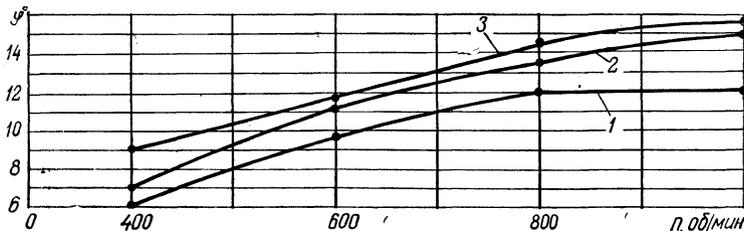


Рис. 5. Графики зависимости продолжительности впрыска от числа оборотов кулачкового вала насоса:  
1, 2, 3 — номера распылителей.

С повышением числа оборотов кулачкового вала насоса увеличивается скорость подачи топлива, вследствие чего повышается

давление впрыска и скорость истечения топлива через сопловое отверстие. В результате скорость распространения и дальность продвижения факела при увеличении числа оборотов кулачкового вала насоса возрастают.

Рис. 6 показывает, что дальнобойность факела за равные угловые интервалы поворота кулачкового вала насоса от начала впрыска при повышении числа оборотов изменяется различно: при 400—

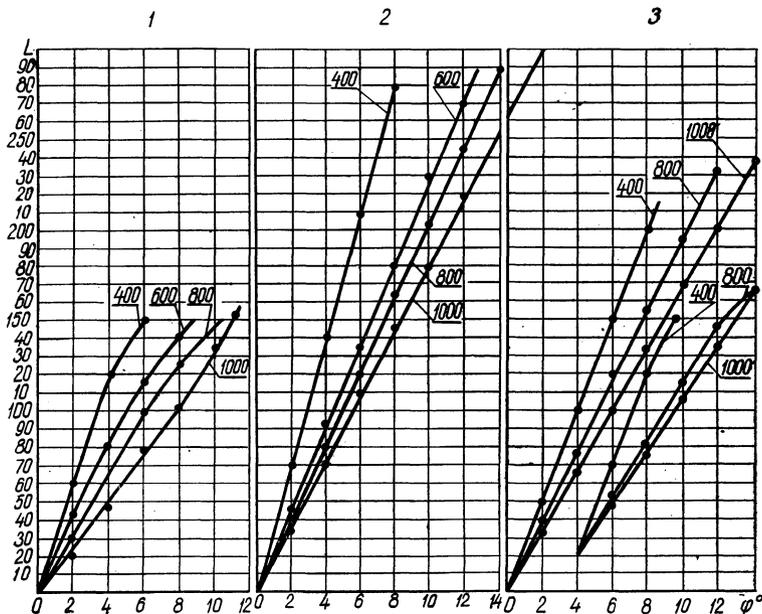


Рис 6. Графики развития длины факела по углу поворота кулачкового вала при различных числах оборотов (400, 600, 800, 1000 об/мин).

Обозначения такие же, как на рис. 5.

600 об/мин изменение резче, чем при 600—1000 об/мин. Это объясняется различной интенсивностью изменения давления впрыска топлива в зависимости от числа оборотов: чем интенсивнее увеличивается давление, тем меньше изменяется длина факела для равных интервалов от начала впрыска. Это в свою очередь связано с тонкостью распыливания топлива: с увеличением тонкости распыла интенсивность затухания скорости перемещения факела возрастает.

Дальнобойность факела при распылителе 2 почти в два раза больше, чем при распылителе 1, что объясняется «отрицательной» конусностью штифта распылителя 2. Распылитель 3 представляет собой сочетание двух распылителей 1 и 2, о чем говорят снимки факела, а также характер развития его по углу поворота кулачкового вала при различных числах оборотов.

### Выводы

1. Рассмотренная экспериментальная стробоскопическая установка позволяет определять фазы впрыска, а также угол конуса и длину топливного факела в любой момент его развития при впрыске топлива в камеру с атмосферным давлением.

2. Хотя впрыск топлива в атмосферу и не отражает действительных условий работы топливоподающей системы, тем не менее он позволяет производить относительную оценку формирования топливного факела при испытаниях различных систем.

3. В отличие от стенда СДТА-1 экспериментальная установка позволяет определять не только угол начала, но и угол конца впрыска, а следовательно, и его продолжительность.

4. Установка дает возможность одновременно с фотографированием топливного факела регистрировать диаграммы давления впрыска и хода иглы форсунки и получать на них отметки фазы, в которой фотографируется факел.

### Л и т е р а т у р а

1. Волчок Л. Я. Методы измерений в двигателях внутреннего сгорания. М., 1955.
2. Файнлейб Б. Н. Оборудование и приборы для исследования аппаратуры авто-тракторных дизелей. М., 1964.