

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ТНВД ДИЗЕЛЕЙ

В.Г. Хархан, инженер
ООО «Качественная аппаратура»

Выполнен анализ источников погрешности измерений, возникающих в технологическом процессе испытаний и настройки ТНВД на стендах. Показано, что в дополнении к погрешностям средств измерений, при испытаниях возникают погрешности, вносимые субъективным фактором и особенностями конструкции объекта испытаний. На основе анализа источников погрешности предложен алгоритм решения задач оптимизации метрологических характеристик средств измерений в процессе производства и испытаний дизельной топливной аппаратуры.

Экономические, мощностные и экологические показатели работы дизелей в значительной мере зависят от действительных параметров дизельной топливной аппаратуры (ДТА).

Особенность дизельных двигателей состоит в том, что настройка выходных параметров топливных насосов высокого давления (ТНВД) осуществляется при проведении безмоторных испытаниях на измерительных установках (стендах). Сложность настройки ТНВД состоит в том, что необходимо измерять небольшие порции топлива, сжатые под большим давлением и подаваемые за короткий промежуток времени при определенных углах поворота кулачкового вала (КВ). При трансформации измеряемой физической величины в форму, доступную для точной фиксации оператором, происходит взаимодействие измерительного сигнала с деталями и узлами стенда, вызывая различные погрешности измерения.

Для контроля качества производственных и технологических процессов устанавливаются нормированные метрологические характеристики измерительного оборудования, учитывающие различные составляющие суммарной погрешности средства измерения (СИ) [5].

В целом погрешность измерений выходных параметров ТНВД при проведении стендовых испытаний является комплексным показателем, включающим, кроме упомянутой погрешности СИ стенда влияние субъективного фактора, воздействие параметров окружающей среды, а также особенности конструкции испытываемого изделия.

Субъективный фактор в метрологическом обеспечении (МО) процессов регулировки и

испытаний ТНВД обычно не учитывается. Заранее принимается, что оператор-регулировщик — грамотный специалист, действующий в полном соответствии с предъявляемыми требованиями.

Воздействие параметров окружающей среды также считается не оказывающим существенного влияния на точность стендовых измерений. Организационными возможностями производства обеспечивается оптимальный или допустимый уровень микроклимата на рабочем месте в соответствии с требованиями санитарных правил и норм.

Влияние на точность стендовых измерений самого испытуемого изделия ТНВД тоже не учитывается. В действительности метод оценки частоты вращения приводного вала (ПВ) стенда не соответствует закону собственного вращательного движения КВ ТНВД. Стендовый частотомер работает по принципу интегрирующего СИ (счетчика), регистрирующего число замыкания фотодиодной пары через прорезы зубчатого диска, установленного на ПВ стенда за базовое время (около 0,5 с.). То есть на дисплее отражается средняя частота вращения за несколько оборотов ПВ. В то же время крутящий момент сопротивления испытуемого ТНВД является переменной физической величиной в пределах рабочего цикла. При нагнетании и впрыске топлива в измерительную емкость стенда, за рабочий период, занимающий небольшой (около 7°) угол поворота КВ, давление в линии высокого давления и момент сопротивления вращению резко возрастают. Учитывая известную зависимость между изменением крутящего момента вращения и угловой скоростью можно сделать вывод о наличии дополнительной погрешности, не учитываемой в результатах испытаний.

Таким образом, при испытаниях ТНВД исключается учет погрешностей испытательного стенда и комплекта стендовых форсунок. Выделение форсунки стендовой (ФС) в отдельную категорию источника погрешностей вызвано тем, что, во-первых, ФС с топливопроводом высокого давления (ТВД), являясь в измерительной цепи первичным измерительным преобразователем, обладает параметрами (эффективное проходное сечение распылителя, длина и внутренний диаметр ТВД), наиболее чувствительными к выходным показателям всей топливной системы [2].

Во-вторых, ФС в большей степени, чем остальные узлы измерительного канала стенда, подвержены загрязнению механическими примесями, выносимыми потоком топлива из испытуемого ТНВД, что является основной причиной потери точности измерений. Следовательно, требуется особый порядок поддержания учета влияния стендовых форсунок на метрологические характеристики стенда при наличии требования по обеспечению заданной неравномерности подачи топлива по секциям испытуемого насоса.

Система метрологического обеспечения испытаний ТНВД

Для обеспечения единства измерений при регулировке и испытании ТНВД метрологические характеристики стендов и стендовых форсунок установлены в следующих нормативно-технических документах (НТД).

➤ Международные стандарты ИСО 4008 «Транспорт дорожный. Стенды для испытания топливных насосов высокого давления. Технические требования» и ИСО 7440 «Транспорт дорожный. Испытания топливовпрыскивающей аппаратуры».

➤ Национальный стандарт ГОСТ 10578–95 «Насосы топливные дизелей». Общие технические условия полностью соответствуют содержанию стандарта ИСО 4008 в части динамических характеристик испытательных стендов.

➤ Отраслевые стандарты ОСТ 23.1.362–81 «Система контрольных образцов и стендов в промышленности (тракторное и сельскохозяйственное машиностроение)» и РТМ 10.0025–95 «Система эталонирования» в эксплуатационном секторе (сельское хозяйство).

Обеспечение заданных метрологических характеристик стендов для испытаний ТНВД осуществляются в два этапа.

1. Проектно-технологический — при создании измерительной установки. В процессе решения прямой (синтез) и/или обратной (анализ) задач обеспечение точности измерений проводится точностной расчет деталей и узлов. Конструкция стенда подвергается проверке в ходе первичной метрологической аттестации по ГОСТ Р.8.568–97 «Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».

2. Эксплуатационный — при использовании измерительной установки в промышленности или ремонтных организациях. Учитывая массовый характер и непрерывность производства, а также большое количество влияющих на точность факторов, было принято решение использовать наиболее оптимальную планово-предупредительную систему поддержания точности и обеспечения единства измерений методом сравнения с образцом.

В каждой отрасли применения в соответствии с указанными в п. II ОСТ и РТМ были созданы поверочные схемы, представляющие собой метрологическое соподчинение эталонов ДТА, образцовых СИ и порядок передачи размера физической величины (цикловая подача на эталонном режиме) рабочим СИ.

Данные поверочные схемы созданы по принципу действия государственных поверочных схем, например передачи мер длины. Метрологические измерения проводятся соответствующими подразделениями юридических лиц. Держателями эталонов 1-го разряда по признакам производственной целесообразности являются заводы-изготовители форсунок режима эталонирования [6].

Приведенная система МО разрабатывалась, внедрялась и хорошо зарекомендовала себя в экономических условиях, государственной формы собственности заводов-изготовителей ДТА.

Однако уже тогда стали проявляться ее отдельные недостатки, в частности, многономенклатурность. В конце 1980-х гг. в стране существовало 11 типов контрольных форсунок, 12 типов контрольных насосов, 5 типов топливопроводов высокого давления [3]. Все это не в полной мере способствовало обеспечению единства измерений при регулировке и испытаниях ДТА.

Однако главный недостаток системы МО проявился при переходе к новым экономическим условиям хозяйствования. Если ранее заводы-изготовители контрольных образцов ДТА обязаны были поставлять их по запросу потребителя и в необходимом количестве, то в настоящее время это означало бы обеспечивать эталонами своих экономических конкурентов. Ситуация сводится к тому, что каждое предприятие-изготовитель ДТА создает свое собственное эталонное хозяйство на свою продукцию, а потребители должны иметь эталоны всех поставщиков используемой ДТА с необходимой периодической поверкой. Положение напоминает дометрическую систему мер и весов, когда каждая страна и даже ее регионы имели собственные меры длины и веса.

Все это ведет к полному отсутствию единства измерений при регулировке и испытаниях ДТА.

Конструктивное обеспечение единства измерений

Наиболее оптимальным выходом из создавшегося положения является внедрение единой ФС при испытаниях ТНВД. С учетом развития международных экономических отношений целесообразно использовать форсунки калибра (ФК) по международному стандарту ИСО 7440 (рис. 1), принятому в большинстве ведущих стран-производителей и потребителей ДТА.

Поскольку данная форсунка в технологическом процессе производства и эксплуатации ДТА яв-

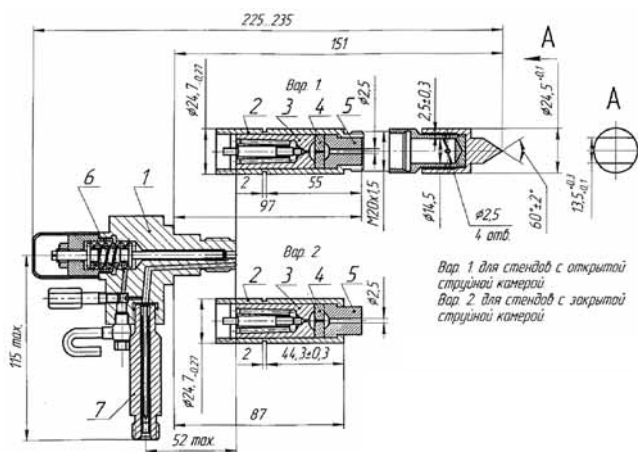


Рис. 1. Форсунка стендовая калибра ФК

1 — корпус форсунки; 2 — гайка распылителя; 3 — узел игольчатого клапана; 4 — пластина с одним отверстием; 5 — распорная втулка; 6 — пружина; 7 — впускной штуцер и щелевой фильтр

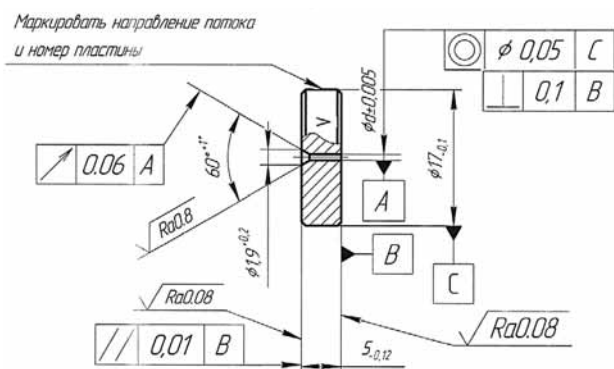


Рис. 2. Пластина-жиклер с одним отверстием

ляется средством измерения, она имеет нормированные метрологические характеристики, соответственно, методику их контроля и аттестации [4]. Вместо соплового аппарата штатного распылителя, имеющего большое количество типоразмеров по количеству, расположению и размерам сопловых отверстий, в ФК устанавливается калибровочная пластина-жиклер (рис. 2) с одним центральным отверстием пяти типоразмеров 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 мм с допуском $\pm 0,005$ мм для охвата всего диапазона эффективных проходных сечений распылителей μ_f топливных систем, находящихся в применении. При регулировке ТНВД на стенде на ФК ставится жиклер с отверстием по коэффициенту расхода ближайшему к μ_f распылителя топливной системы двигателя.

Игольчатый клапан ФК изготавливается с подъемом иглы $0,7+0,03$ мм, что исключает влияние дросселирования технологической жидкости (ТЖ) по запирающему конусу, и метрологические характеристики ФК определяются только параметрами отверстия жиклера. Это

Диаметр дозирующего отверстия	Расход (кг/мин) технологической жидкости ($\Delta p = 50$ кгс/см ²)	Эффективное проходное сечение, мм ²	Коэффициент расхода
0,4	0,563–0,590	0,107	0,850
0,5	0,884–0,932	0,167	0,850
0,6	1,266–1,366	0,240	0,850
0,7	1,766–1,848	0,334	0,855
0,8	2,291–2,401	0,436	0,860

обуславливает высокую степень идентичности ФК стандартным форсункам при испытаниях ТНВД.

В таблице приведены гидравлические характеристики жиклеров изготовленных по ИСО 7440, полученные экспериментально по отечественным методикам ($\Delta p = 50$ кгс/см²) [7]. По стандарту ИСО 7440/2 «Определение расхода через пластину с отверстием» расход определяется при перепаде давления $\Delta p = 100$ бар.

Предельное отклонение в значениях μ_f жиклеров не превышает 3% в диапазоне 0,850–0,860, что свидетельствует о том, что принятая конструкция жиклеров с входным конусом 60° и отношением l/d канала в пределах 4,0–7,5 обладает высокой идентичностью по коэффициенту расхода параметрам распылителя форсунки топливной системы дизеля.

Стабильность метрологической характеристики ФК обеспечивает щелевой фильтр (рис. 3, а, б). Необходимость этого элемента объясняется тем, что основной причиной изменения выходных показателей ФК является засорение центрального отверстия жиклера, механическими примесями, выносимыми потоком ТЖ из регулируемого

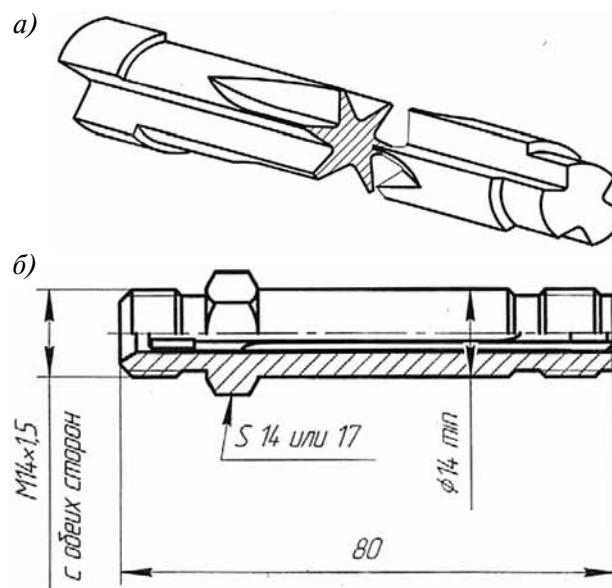


Рис. 3. Щелевой фильтр

а — щелевой фильтр с пазами (схематичный); б — впускной штуцер с щелевым фильтром

ТНВД. Щелевой фильтр повышенной грязеемкости и с зазором до 0,03 мм между фильтром и корпусом является эффективным средством решения проблемы. В качестве метрологической характеристики назначен статический расход ТЖ (методика измерения нормирована ИСО 7440/1). При снижении расхода фильтр подлежит техническому обслуживанию (разборка, промывка-прочистка, сборка, повторный контроль на производительность).

Оптимизация метрологических характеристик при производстве ТНВД

Метрологические характеристики СИ, используемые при стендовых испытаниях ТНВД и форсунок, также как и любые другие СИ, не могут характеризоваться произвольно назначенными значениями. Базовые параметры точности указаны в упомянутых нормативных документах. Основопологающим является международный стандарт ИСО 4008 «Стенды для испытания топливных насосов высокого давления. Технические требования».

Вместе с тем стенд для испытаний и стендовые форсунки, участвуя в технологическом процессе производства ТНВД, должны соответствовать роли и месту в обеспечении выходных показателей качества изделия.

Каждое машиностроительное предприятие, в том числе завод по производству ДТА, основываясь на первом принципе Всеобщего управления качеством (ориентация на потребителя), определяет область распространения своей продукции на рынке. Цели и задачи, стоящие перед производителем, предполагают оптимизацию большого количества производственных факторов, участвующих в создании изделия ТНВД, то есть выстраивают производственный процесс по принципу многофакторного эксперимента [1].

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где y — параметр оптимизации (в случае машиностроительной продукции — это технико-технические и экономические показатели производства); x_i — факторы оптимизации, то есть качественные показатели каждого звена процесса производства.

Для решения задачи оптимизации предприятие-изготовитель ТНВД разрабатывает план организационно-технических мероприятий.

Одним из важнейших направлений плана организационно-технических мероприятий, является МО процесса производства.

Это направление включает в себя:

➤ проведение анализа состояния процессов измерений на предприятии;

➤ выбор установление рациональной номенклатуры измеряемых величин, номенклатуры рабочих и образцовых СИ;

➤ выбор оптимальных норм измерений точности;

➤ разработка методик измерений в зависимости от установленных норм точности;

➤ создание и поддержание условий, необходимых для проведения измерений;

➤ метрологическая экспертиза технических заданий, конструкторской и технологической документации.

При организации стендовых испытаний ТНВД необходим выбор оптимальных норм точности.

При недостаточной точности невозможно оценить выходные параметры ТНВД, обеспечивающие требуемые экономические, экологические и мощностные характеристики двигателя. В условиях избыточной точности возникает разброс результатов измерений (нестабильность и неидентичность) как при оценке единичного впрыска, так и при оценке суммарной производительности, что затрудняет общую оценку параметров регулируемого насоса.

Исходя из этого следует, что точностные характеристики СИ при стендовых испытаниях ТНВД могут быть либо соответствующими требованиям измерительной задачи, то есть определять значение измеряемой величины — цикловой подачи ТНВД с требуемой точностью [5], либо не соответствующими.

Степень соответствия в конечном итоге определяет качество продукции и конкурентные преимущества завода-изготовителя ТНВД.

Литература

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. — М.: Металлургия, 1969. — 159 с.
2. Голубков Л.Н., Лимаров Н.Ф. Исследование влияния технологических допусков на выходные показатели топливной системы КамАЗ-740 // Двигателестроение. — 1981. — № 2. — С. 41–43.
3. Долганов М.С. Тезисы доклада по теме НИР «Разработать единую с промышленностью (АПК и Минавтосельхозмаш) систему эталонирования ДТА на основе использования международных стандартов ИСО», госзаказ № 01-391-19/90. ГОСНИТИ, 1990.
4. ИСО 7440/1 «Узлы эталонного распылителя и держателя».
5. Основные термины в области метрологии / под ред. Тарбеева Ю.В. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 113 с.
6. ОСТ 23.1362–81 «Система контрольных образцов и стенов».
7. Труды ЦНИТА 1989. Форсунка-калибр для регулирования топливных насосов автотракторных дизелей // Блохин Л.С. и др. Л., 233 с.