

# TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

UDC 621.86. 621. 629.3; 669.54. 793

## Evgrafov V.A., Omarov T.S. Development of a test bench for internal combustion engine units

Разработка стенда для испытания агрегатов ДВС

**Evgrafov V.A.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Service of Machines and Equipment. K.A. Ti-miryazev Russian State Agrarian University, Moscow, Russia.

**Omarov T.S.**

Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow, Russia, Engineer - economist of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment.

Евграфов В.А.

д.т.н., профессор кафедры технической сервис машин и оборудования. Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Омаров Т.С.

Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, инженер - экономист кафедры технической сервис машин и оборудования.

**Abstract.** *Due to the current requirements for the quality of operation of fuel equipment elements, the criteria for evaluating the quality of diesel injectors have become significantly tougher. If earlier the simplest devices (such as a reference nozzle with a tee or a maximeter) were used to check the injectors, now it is necessary to use special devices of domestic or foreign production. This article presents the scheme and calculations of a more universal stand for testing injectors of internal combustion engines.*

**Keywords:** stand; nozzle; engine; shut-off cone; pressure sensor; tightness; hermetic density.

**Аннотация.** Из-за сложившихся на сегодняшний день требований к качеству работы элементов топливной аппаратуры существенно жестче стали критерии оценки качества работы дизельных форсунок. Если раньше для проверки форсунок использовались простейшие приспособления (типа эталонной форсунки с тройником или максиметр), то теперь необходимо применять специальные приборы отечественного или зарубежного производства. В данной статье представлены схема и расчеты более универсального стенда для испытания форсунок ДВС.

**Ключевые слова:** стенд; форсунка; двигатель; запорный конус; датчик давления; герметичность; гермоплотность.

**Рецензент:** Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Предлагаемая конструкция стенда для испытания форсунок CR имеет более простую конструкцию и низкую стоимость по сравнению с аналогичными, уже существующими стендами. При этом она позволяет:

- проводить визуальный контроль качества распыла топлива;

- герметичность запирающего конуса распылителя;
- определять цикловую подачу и количество топлива, перепускаемого через обратный канал.

Принципиальная схема стенда приведена на рисунке 1. Стенд состоит из рамы, на которую крепится электродвигатель, ТНВД, блок управления, монитор, приборы управления, аккумулятор, трубопроводы, топливный бак. На аккумулятор крепится регулятор давления, датчик давления, аварийный ограничитель подачи топлива. Работает стенд следующим образом: Топливо из бака 2 электрическим топливоподкачивающим насосом 4 подается в топливный насос высокого давления 5, который приводится в действие электрическим двигателем 3 мощностью 2 кВт.

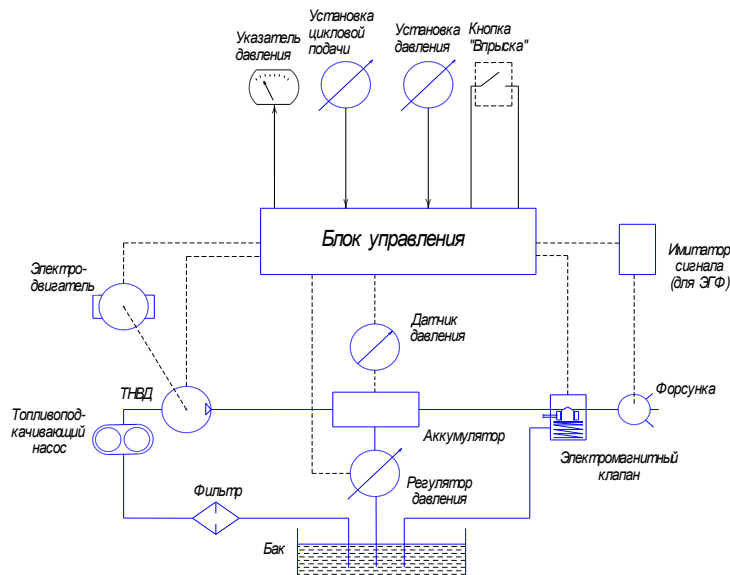


Рис. 1. Схема стенда для испытания форсунок

Сжатое топливо под высоким давлением поступает в аккумулятор 6. Давление задается блоком управления через электронный дисплей 10 и фиксируется датчиком давления 8 фирмы Bosch. Для регулировки давления в аккумуляторе, на нем установлен регулятор давления 7, который управляется блоком управления. Аккумулятор соединен с испытуемой форсункой через электромагнитный клапан 9, позволяющий прекратить подачу топлива. Топливо в стенд заливается через заливное отверстие, в которое установлен предохранительный съемный сетчатый фильтр, предназначенный для предотвращения попадания крупных механических частиц в топливный бак стенда. В случае засорения фильтра, он вынимается и после продувки струей сжатого воздуха устанавливается на место. Емкость топливного бака стенда составляет 10 л. В нижней

части стенд имеет регулировочные болты для регулирования положения стенда в горизонтальной плоскости. В качестве насоса для создания давления (до 60 МПа) в топливном аккумуляторе используется ТНВД фирмы Denso.

При комплектовании стенда, с целью унификации и снижения стоимости использованы стандартные узлы и детали. К примеру, предлагается использовать ТНВД фирмы Denso, датчик давления и регулятор давления фирмы Bosch, электродвигатель, монитор. Основной деталью стенда, требующей изготовления является аккумулятор. Особенности конструкции и требования состоят в следующем:

- предусмотрены места для крепления датчика давления, регулятора давления, штуцера от ТНВД и штуцера ведущего на форсунку через аварийный ограничитель подачи топлива;
- толщина стенок аккумулятора должна быть рассчитаны на давление в 200 МПа;
- после сборки проверить герметичность соединений.

Аварийный ограничитель подачи предотвращает опорожнение аккумулятора через форсунку с зависшей иглой или клапаном управления и повреждение соответствующего цилиндра дизеля. В нем используется принцип возникновения разницы давлений по обе стороны от клапана 1 (рис. 2) при прохождении топлива через его жиклеры 2. Сечение жиклеров, затяжка пружины 3 и диаметр клапана должны строго отвечать максимальной продолжительности и расходу, т.е. подаче топлива.

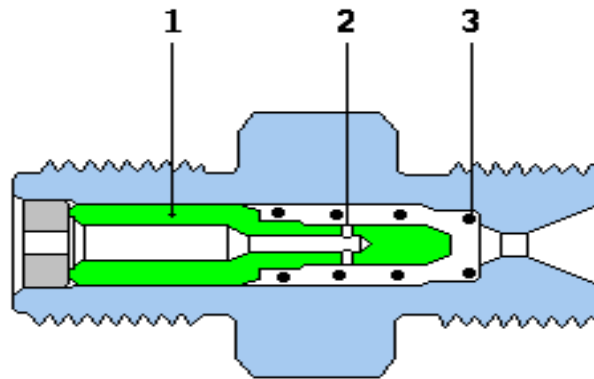


Рис. 2. Конструкция аварийного ограничителя подачи через форсунку CR Bosch

Конструкция регулятора давления представлен на рисунке 3.

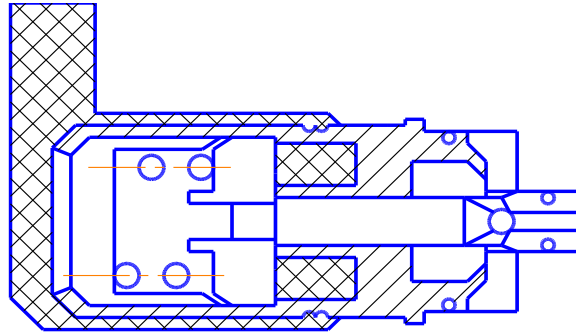


Рис. 3. Конструкция регулятора давления.

*Расчет топливного аккумулятора:* Аккумулятор в CR Bosch выполнен в виде толстостенного трубопровода с внутренним диаметром 10 мм, наружным 18 мм, длиной от 280 до 600 мм, т.е. объемом от 22 до 47 мл (для дизелей с цилиндровой мощностью 30...50 кВт – до 60 мл).

Необходимый объем аккумулятора определяется по формуле:

$$V_{ак} = \frac{V_{\Sigma}}{\beta \cdot \Delta P}, \quad (1)$$

где  $V_{\Sigma}$  – общий расход топлива с учетом расхода на управление, мм<sup>3</sup>;

$\Delta P$  – допустимое колебание давления ( $\Delta P=5,0$  МПа);

$\beta$  – коэффициент сжимаемости, 1/МПа.

При цикловой подаче  $V_{ц}$  до 300 мм<sup>3</sup> (проверка на стенде форсунок с цикловой подачей до 300 мм<sup>3</sup>) общий расход топлива  $V_{\Sigma} \approx 2 \cdot V_{ц} = 600$  мм<sup>3</sup>.

Коэффициент сжимаемости при  $P = 60$  МПа (достигаемое на установке давление в топливном аккумуляторе) можно принять  $\beta = 5 \cdot 10^{-6}$  1/МПа .

$$V_{ак} = \frac{600}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 5} = 240000 \text{ мм}^3 \text{ или } 240 \text{ мл.}$$

Объем аккумулятора можно определить по формуле:

$$V_{ак} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l, \quad (2)$$

С целью увеличения жесткости аккумулятора принимаем  $d=30$  мм, отсюда определяем длину:

$$l = \frac{4 \cdot V_{ак}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 240000}{3,14 \cdot 30^2} = 339 \text{ мм};$$

Принимаем длину аккумулятора  $L=340$  мм.

Для определения внешнего диаметра и толщины стенки необходимо произвести расчет топливного аккумулятора на прочность. Для этого воспользуемся методикой расчета цилиндрической оболочки, находящейся под действием внутреннего давления.

По условию пластичности Мизеса:

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{pr}{\delta} \leq [\sigma], \quad (3)$$

где  $p$  – давление, МПа;  $r$  – внутренний радиус полого цилиндра, мм;  
 $\delta$  – толщина стенки, мм;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение, МПа.

Допускаемое напряжение определяется по формуле:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}, \quad (4)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала, МПа;  $n$  – запас прочности (1,5...2).

Предел текучести для материала Сталь 08Х13 410 МПа. Запас прочности принимаем равным 2. Тогда допустимое напряжение будет равно:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n} = 205 \text{ МПа.}$$

Выражаем из неравенства толщину стенки и, подставив значения, получаем:

$$\delta \geq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{pr}{[\sigma]}, \quad \delta \geq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{180 \cdot 15}{205}, \quad \delta \geq 11,4 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину стенки топливного аккумулятора равной  $\delta = 12$  мм. При этом внешний диаметр будет равен  $D = 54$  мм. Далее приведем расчет резьбы крепления к топливному аккумулятору на прочность. Материал деталей возьмем Сталь 45, для которой  $\sigma_T = 56$  МПа. Резьба датчика давления М16×1,25 с глубиной завинчивания  $H = 10$  мм. Основной вид разрушения крепежных резьб – срез витков. Условия прочности резьбы по напряжениям среза

$$\tau_в = \frac{F}{\pi d_1 H k k_t} \leq [\tau]_в \text{ для винта,} \quad (5)$$

$$\tau_г = \frac{F}{\pi d H k k_t} \leq [\tau]_г \text{ для гайки,} \quad (6)$$

где  $F$  – действующая сила, Н;  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы, мм;

$d$  – наружный диаметр, мм;  $k$  – коэффициент полноты резьбы, для треугольной резьбы  $k = 0,87$ ;  $k_t$  – коэффициент неравномерности нагрузки по виткам резьбы,  $k_t = 0,7$ ;  $[\tau]$  – допускаемое напряжение, МПа.

$$[\tau] = 0,8[\sigma], \quad (7)$$

$$[\tau]_2 = 0,8 \cdot 205 = 164 \text{ МПа};$$

$$[\tau]_6 = 0,8 \cdot \frac{560}{2} = 224 \text{ МПа}.$$

Штатный датчик давления имеет резьбу М16×1,25 с глубиной завинчивания  $H = 10$  мм, для резьбы М16 внутренний диаметр будет составлять  $d_1 = 13,835$  мм.

Проверим, выдержит ли заданное давление данное резьбовое соединение.

Усилие ( $F$ ) в (Н) определяем по формуле

$$F = p \cdot \pi \cdot r^2 \quad (8)$$

где  $p$  – давление в топливном аккумуляторе, Па.

$$F = 180 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,015^2 = 12717 \text{ Н}.$$

Подставляя значения в выражения получим

$$\tau_6 = \frac{12717}{\pi \cdot 13,835 \cdot 10 \cdot 0,87 \cdot 0,7} \leq 224 \text{ Мпа.}; \quad \tau_6 = 48 \leq 224 \text{ МПа},$$

$$\tau_2 = \frac{12717}{\pi \cdot 16 \cdot 10 \cdot 0,87 \cdot 0,7} \leq 164 \text{ Мпа.}; \quad \tau_2 = 41,5 \leq 164 \text{ МПа}.$$

Из расчетов следует, что такая резьба имеет 4-х кратный запас прочности.

Расчет ограничителя подачи будет аналогичный, так как диаметр и резьба совпадают.

Проверим на срез резьбу болтов регулятора давления М6×1 с глубиной завинчивания  $H = 20$  мм, эта резьба будет иметь внутренний диаметр  $d_1 = 4,8$  мм. Материал болтов возьмем Сталь 45.

$$F = 180 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,015^2 = 12717 \text{ Н}.$$

$$\tau_6 = \frac{12717}{\pi \cdot 4,8 \cdot 10 \cdot 0,87 \cdot 0,7} \leq 208 \text{ Мпа.}; \quad \tau_6 = 138,5 \leq 208 \text{ МПа},$$

$$\tau_2 = \frac{12717}{\pi \cdot 6 \cdot 10 \cdot 0,87 \cdot 0,7} \leq 208 \text{ Мпа.}; \quad \tau_2 = 110,8 \leq 208 \text{ МПа}.$$

Расчет болтов регулятора давления показывает, что данное соединение будет иметь запас прочности почти в 2 раза. Рассчитаем резьбовое соединение на прочность крышки с аккумулятором. Материал крышки берем Сталь 45. Резьба крышки имеет размер М30×1,5, а внутренний диаметр будет  $d_1 = 27,8$  мм.

$$F = 180 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,015^2 = 12717 \text{ Н}.$$

$$\tau_6 = \frac{12717}{\pi \cdot 30 \cdot 10 \cdot 0,87 \cdot 0,7} \leq 208 \text{ Мпа.}; \quad \tau_6 = 22,1 \leq 208 \text{ МПа},$$

$$\tau_2 = \frac{12717}{\pi \cdot 27,8 \cdot 10 \cdot 0,87 \cdot 0,7} \leq 208 \text{ Мпа.}; \quad \tau_2 = 24 \leq 208 \text{ МПа}.$$

Как видно из расчетов условие прочности соблюдается.

*Принцип работы модернизированного стенда.* Алгоритм проверки механических форсунок: Испытываемая форсунка устанавливается на стенд, крепится на кронштейн и присоединяется к трубопроводу высокого давления. Подсоединяется сливной трубопровод низкого давления. Подключается электромагнитный клапан форсунки к блоку управления. Включается стенд, задается нужное, согласно тест-плану для данного типа форсунок, давление на мониторе. Проверяется подвижность иглы, гидроплотность по направляющей поверхности иглы, герметичность по запирающему конусу. Замеряется время падения давления. Проверяется визуально качество распыла топлива. Определяется давление начала впрыскивания и цикловая подача.

Алгоритм проверки электрогидроуправляемых форсунок: ЭГФ крепится к трубопроводу высокого давления и фиксируется в кронштейне. Через монитор запускается соответствующая программа испытания. Устанавливается, заданное согласно тест-плану, контролируется датчиком давления и выдается на монитор через блок управления. Стенд должен устанавливаться на горизонтальную плоскость находящуюся на высоте 1 м от поверхности «земли». Это обеспечит комфортную работу мастера-регулировщика. Максимально допустимое расстояние между носиком распылителя и приемной стеклянной емкостью стенда должно составлять 40 мм. Оно ограничивается выходом струй за пределы стеклянной приемной емкости стенда (распыливанием топлива в атмосферу). Минимальное же расстояние должно выбираться таким образом, чтобы обеспечить визуальный контроль за качеством распыливания. Для работы стенда необходимо питание от сети 220В. Основной деталью разработанного стенда является топливный аккумулятор. Был произведен расчет стенок аккумулятора на условия выдерживания давления в 200 МПа. К аккумулятору подсоединяется регулятор давления. Он удерживает постоянное давление в аккумуляторе, которое задано согласно тест-плану. Также к аккумулятору крепится датчик давления, штуцер от ТНВД для подвода топлива и аварийный ограничитель подачи давления. Сигнал с датчика давления поступает в блок управления, с блока сигнал идет на электромагнит регулятора давления.

### **Выводы**

Анализ существующих конструкций стендов для испытания форсунок, приведенный выше, показал что в настоящее время нет универсальных стендов, позволяющих проверить как простые, механические форсунки, так и электрогидроуправляемые форсунки для аккумуляторной системы типа CR. В этой связи был предложен универсальный стенд для испытания всех типов форсунок дизелей, позволяющий оценить основные показатели работы: - проверить качество распыла; - герметичность

запорного конуса; - гидροплотность направляющей части иглы распылителя; - давление начала впрыска и т.д.

#### References

1. Апатенко А.С., Быков В.В., Голубев И.Г., Голубев М.И., Евграфов В.А. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном сопровождении. / Том Часть 2. Москва, 2018.
2. Андреев А.А., Апатенко А.С., Улюкина Е.А., Гусев С.С. Самоочищающийся фильтр./ Патент на полезную модель 205889 U1, 11.08.2021. Заявка № 2021113888 от 17.05.2021.
3. Гусев С.С., Боярский В.Н. Регенерация отработанных моторных и гидравлических масел при эксплуатации автотракторной и сельскохозяйственной техники./ Вестник ФГБОУ ВПО "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2015. № 2. С. 76.
4. Карапетян М.А. Воздействие движителей трактора на физические свойства почвы./ Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 7. С. 50-51.
5. Орлов Б.Н., Карапетян М.А., Абдулмажидов Х.А. Исследования рабочих органов элементов машин и технологического оборудования. /Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 2. С. 36-38.
6. Тойгамбаев С.К. Совершенствование моечной машины ОМ -21614./ Техника и технология. 2013. № 3. С. 15-18.
7. Тоигамбаев С.К. Повышение долговечности деталей сельскохозяйственных и мелиоративных машин при применении процесса термоциклической диффузионной металлизации./ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Российский государственный аграрный университет-Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва, 2000г.
8. Rudyk N.V., Niyazbekova S.U., Yessymkhanova Z.K., Toigambayev S.K. Development and regulation of the digital economy in the context of competitiveness./ В сборнике: Cooperation and Sustainable Development. Conference proceedings. Cham, 2022. С. 167-174.