

В. Е. Тарасенко¹, А. А. Жешко², О. О. Мухля¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ
И КОМПЛЕКСНОЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ РАБОТЫ С ИНЖЕКТОРАМИ
АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL**

Аннотация. Предложено комплексное функциональное преобразование диагностического стенда для работы с инжекторами аккумуляторной топливной системы Common Rail.

Ключевые слова: диагностический стенд, двигатель внутреннего сгорания, система питания, инжектор, давление, привод, муфта.

V. E. Tarasenko¹, A. A. Zheshko², O. O. Mukhlya¹

¹EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.ru

²RUE "NPC of the NAS of Belarus on Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

**ANALYSIS OF DESIGN DESIGNS AND COMPLEX FUNCTIONAL
TRANSFORMATION OF THE DIAGNOSTIC STAND FOR WORKING
WITH INJECTORS OF THE COMMON RAIL BATTERY FUEL SYSTEM**

Abstract. A complex functional transformation of the diagnostic stand for working with injectors of the Common Rail battery fuel system is proposed.

Keywords: tractor, diagnostic stand, internal combustion engine, power system, injector, pressure, drive, clutch.

Введение

Выполнение работ по техническому диагностированию, обслуживанию и ремонту машин невозможно осуществить без специального технологического оборудования, использование которого на сельскохозяйственных предприятиях позволяет облегчить тяжелые и трудоемкие операции, повысить производительность труда и качество выполнения работ [1–3].

Дизельные двигатели постоянно совершенствуются, современные дизели обладают большим ресурсом и экономичны, но для надежной работы огромное значение приобретает регулярное диагностирование топливной аппаратуры, в частности регулировка топливного насоса высокого давления и форсунок Common Rail (CR). Необходимы операции своевременного диагностирования составляющих элементов CR, которые помогут своевременно устранить неисправности, такие как слишком большой расход топлива, затрудненный запуск двигателя, падение мощности двигателя и др. [1–3].

Для оценки состояния элементов дизельной топливной аппаратуры автотракторных двигателей применяют стенды, обладающие высокой степенью формирования электрических сигналов

управления инжекторами и высокоточной системой измерения производительности и утечек. Стенды представляют собой оборудование стоимостью в несколько десятков тысяч евро с охлаждением калибровочного масла, высокотехнологичными радиаторными схемами и встраиванием систем кондиционирования, прямым управлением асинхронными и шаговыми двигателями с преобразователями частоты, электронными схемами управления частотой вращения и счетчиками циклов. Ниже следует анализ стендов для тестирования инжекторов автотракторных двигателей, а также отражено комплексное функциональное преобразование диагностического стенда до уровня тестирования инжекторов CR с максимальным давлением в топливной рейке до 270 МПа.

Объект исследования – диагностический стенд ДД 10-01 топливных насосов высокого давления (ТНВД) двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Цель работы – разработать конструктивные мероприятия для расширения функциональных возможностей диагностического стенда, в том числе работы с инжекторами аккумуляторных систем Common Rail.

Основная часть

Анализ стендов для тестирования инжекторов автотракторных двигателей. Выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений наиболее распространенных моделей стендов, а также отмечены наиболее значимые преимущества и недостатки моделей [4].

Отечественный стенд «Smart-CRI» (рис. 1) компании «ПОТОК» в автоматическом режиме производит тестирование инжекторов Common Rail (Bosch, Delphi, Siemens, Denso) по эталонным тест-планам. Стандартный тест позволяет испытать электромагнитные и пьезоэлектрические инжекторы Common Rail практически всех типов и вариантов производителей при максимальном рабочем давлении (диапазон 0–200 МПа) на всех режимах работы, таких как максимальная производительность, точка эмиссии, холостой ход, предвпрыск, динамические утечки. Тестирование инжектора осуществляется с контролем производительности подачи и утечек, с использованием безмензурочного блока измерения FMx. Также на стенде реализована функция формирования кодов (IMA, QR, c2i, c3i, IC) в зависимости от полученных результатов по измерению производительности.

Кодирование дизельного инжектора изначально внедрено для учета отклонения его производительности на стенде от заданного «эталонного» значения и предназначено для более быстрой адаптации блока управления двигателя к фактической производительности конкретного инжектора. Также кодирование позволило упростить процесс изготовления и регулировки инжектора, возложив функцию корректировочного значения на сформированный при производстве или ремонте код.

В базе данных стенда прописаны тест-планы более чем на 3555 форсунок Common, но также присутствует возможность создавать свой пользовательский тест-план. Специально для данного



Рис. 1. Стенд «Smart CRI» («Промышленная Автоматика») (Беларусь)

стенда, производителем было разработано программное обеспечение DieselStudio, которое позволяет на интуитивном уровне работать не только со стендом, но и со всем оборудованием, необходимым для тестирования инжекторов (CRmini, CRmini2, PT и др.). Также возможно собрать все виды оборудования в одну сеть приборов.

Основное преимущество – это геометрические размеры стенда, возможность применять кодирования инжекторов сразу многих производителей. Один из недостатков – это возможность проверять одновременно не более двух инжекторов.

Стенд «EPS-708» (рис. 2) компании Robert Bosch GMBH позволяет тестировать компоненты систем Common Rail с давлением впрыска до 220 МПа. Учитывая тенденцию к увеличению давления, стенд готов проверять системы с давлением до 250 МПа. EPS 708 оснащен встроенной системой охлаждения (кондиционером), что позволяет значительно снизить расход воды и упрощает подключение стенда (до этого в стендах BOSCH использовалось водяное охлаждение проточной водой). В отличие от аналогов, у которых в основном доступно только напоминание о замене топливного фильтра, в рассматриваемом стенде электроника (множественные датчики перепада давления, загрязненности топливных фильтров) следит за сервисными интервалами, контролируя и отображая состояние фильтров. Особенностью стенда «EPS-708» является наличие интеллектуальной системы самодиагностики, которая обеспечивает персонал достоверной информацией о состоянии стенда.

В отличие от других стендов модель Bosch EPS 708 позволяет проверять как электромагнитные форсунки, так и топливные насосы систем Common Rail производства Bosch и других компаний.

Стенд позволяет также проверять пьезофорсунки производства Bosch, Denso и Siemens/Continental, используя специальное дооснащение CRI Piezo. В этот набор включено все необходимое для всесторонней проверки пьезофорсунок. Дополнительно к испытаниям на утечку и количества впрыскиваемого топлива с помощью предлагаемого набора можно проверить электрический модуль форсунки на наличие дефектов изоляции.

Прогрессивной особенностью стенда «EPS-708», явно выделяющей его на фоне аналогичных стендов, является тестирование форсунки на стабильность впрыскивания топлива. Особенности данной функции сегодня доступно выяснить только у производителя данного стенда, а ознакомиться с этой функцией можно на обучающих курсах в Академии BOSCH (Москва).

Основное преимущество – высокоточная измерительная система стенда, возможность применять кодирования сразу всех шести инжекторов. Один из недостатков – наличие всего двух измерительных ячеек при возможности тестировать до шести инжекторов (12 измерительных каналов), а также требование к качеству чистоты калибровочного масла, которое поступает в измерительные ячейки.

Стенд «CRI-PC» (рис. 3) компании Hartridge (Англия) сегодня является одним из лучших стендов для тестирования форсунок Common Rail Delphi. Именно для этого стенда разработаны

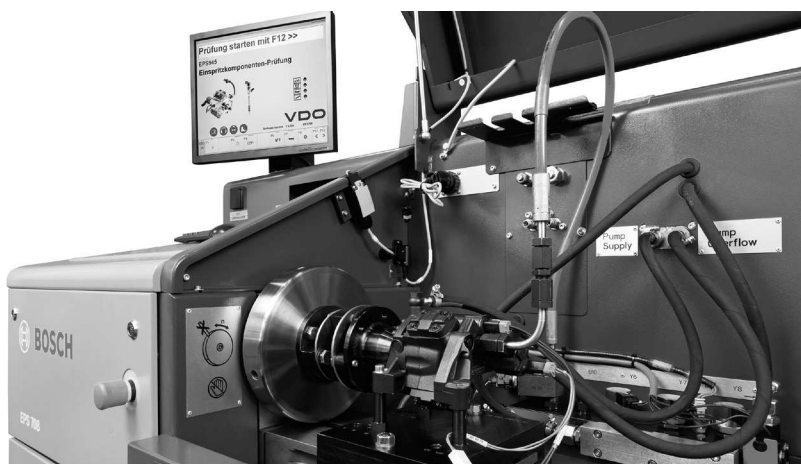


Рис. 2. Стенд «EPS-708» Robert Bosch GMBH (Германия)

авторизованные технологии ремонта форсунок Delphi (с кодированием) и форсунок Siemens-VDO. Возможности стенда позволяют производить все необходимые измерения для форсунок Common Rail Bosch и Denso в режиме ALL MAKES. С 2012 г. стенд позволяет проверять и пьезофорсунки.

Стенд для испытаний форсунок All Makes Common Rail, доступный в конфигурации с одной или четырьмя линиями, может быть адаптирован к потребностям сервисной мастерской с помощью комплектов приложений Hartridge.

Основные особенности стенда:

- управление программным обеспечением Magmah и пользовательским интерфейсом;
- измерение сопротивления катушки форсунки;
- измерение времени отклика форсунки;
- возможность испытания форсунок Bosch, Delphi, Denso и Siemens;
- модульная структура комплекта, что позволяет приобретать только те приложения, которые нужны;
- наличие пневматического зажима крепления инжекторов при тестировании, что позволяет крепить инжекторы при тестировании штатной пневматической системой, исключая дополнительные винтовые прижимы.

Основное преимущество – высокоточная измерительная система стенда, возможность применять кодирования сразу всех одновременно тестируемых инжекторов (1 или 4). Один из недостатков – наличие всего одной измерительной ячейки при возможности тестировать до 1–4 инжекторов (2–8 измерительных каналов), а также требование к качеству чистоты калибровочного масла, которое поступает в измерительные ячейки.

Стенд «DCI 700» (рис. 4) компании BOSCH (Германия) предназначен для диагностирования и испытания инжекторов системы впрыска Common Rail современных дизельных двигателей легковых и коммерческих автомобилей. Он оснащен измерительной системой, способной работать с инжекторами, изготовленными по технологиям NCC (Needle Closing Control) и VCC (Valve Closing Control), с системами контроля тока впрыска, а также инжекторами коммерческих автомобилей с технологией повышенного давления (CRIN 4.2).

Алгоритм обратной связи управления иглой NCC позволяет дозировать впрыск топлива с точностью до нескольких миллионных долей секунды. Для этого в форсунку встроен датчик, взаимодействующий со специальным программным обеспечением: именно этот тандем обеспечивает оптимальный впрыск топлива на протяжении всего срока службы форсунки.



Рис. 4. Стенд «DCI 700» BOSCH (Германия)



Рис. 3. Стенд «CRI-PC» Hartridge (Англия)

Приведем преимущества стенда по сравнению со старыми моделями Bosch EPS 8xx/7xx:

- стенд может работать с инжекторами производства как фирмы BOSCH, так и других производителей;
- быстрая проверка (10–15 мин против 40–45 мин на EPS 815/708);
- 8 расходомеров: по 4 на подачу и обратный слив;
- не требуется шланг высокого давления;
- максимальное давление в рейке – 270 МПа;
- система охлаждения – воздушно-масляный теплообменник.

Основное преимущество – высокоточная измерительная система стенда, возможность применять кодирования сразу всех одновременно тестируемых инжекторов (до 6), способность работать с инжекторами, изготовленными по

технологиям NCC (Needle Closing Control) и VCC (Valve Closing Control). Один из недостатков – обязательное наличие подключения к сети Internet.

Рассмотрев детально описание каждого стенда, можно видеть, что отличия есть и по максимальному системному давлению, и по используемым технологиям, и по геометрическим размерам, и по количеству одновременно тестируемых инжекторов, и по времени тестирования (соотношение измерительных ячеек к количеству тестируемых инжекторов). Соответственно, можно подобрать стенд исходя из загруженности сервиса, тестируемых инжекторов по производителю, размеров помещения дизельного участка и др.

Комплексное функциональное преобразование диагностического стенда. Направления работ топливной аппаратуры сегодня концентрируются на повышении экономичности дизелей при обеспечении параметров токсичности выхлопных газов в пределах установленных норм [5–7]. Новые разработки все больше удовлетворяют форсированию дизелей по мощности, снижению веса, повышению надежности в эксплуатации [1–3, 8]. Улучшение топливной экономичности и экологичности автотракторных ДВС решается высокотехнологичной модернизацией их топливных систем [2, 3, 9].

Ведущие производители автотракторных двигателей освоили новое поколение дизельных двигателей, которые оснащены топливными системами с давлениями впрыскивания до 300 МПа и выше и имеют электронное управление. При этом выполнение перспективных экологических нормативов (Tier-3 и выше) возможно лишь с применением аккумуляторной топливной системы Common Rail как наиболее подходящей для дизелей всех экологических классов [4].

На кафедре «Технологии и организация технического сервиса» УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» выполнена модернизация диагностического стенда ДД 10-01, позволившая осуществлять проверку инжекторов Common Rail с максимальным давлением в топливной рейке до 270 МПа [4, 9].

В стенд дополнительно установили: тестовый ТНВД, рейл на три регулятора и датчик давления топлива (все компоненты с номинальными значениями до 270 МПа); радиатор охлаждения тестовой жидкости; дополнительные фильтры для защиты высокоточной системы измерения от воздействия грязи и металлических частиц, выходящих из испытуемого ТНВД; оптический инкрементальный энкодер (для определения фазы нагнетания секцией ТНВД); топливопроводы; изготовили установочный кронштейн для испытуемого ТНВД.

Разработан и используется специальный адаптер с датчиком давления для тестирования пульсаций давления топлива в различных точках гидравлической схемы стенда. Проведены работы по разводке электрических жгутов управления к системам контроля стенда.

Реализованы такие решения, как: автоматическое управление оборотами стенда и направление его вращения; автоматическая термостабилизация; автоматический отсчет циклов; автоматическое определение производительности тестируемых инжекторов (используется «Поток FM-8»); автоматическое определение температуры тестовой жидкости по каждому каналу.

Диагностический стенд ДД 10-01, претерпев комплексное функциональное преобразование, с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-8» и блоком управления «Поток CR-2» (рис. 5) позволяет выполнять проверку и тестирование инжекторов аккумуляторных топливных систем Common Rail автотракторных дизельных двигателей в большом диапазоне их модификаций.

Комплектация стенда после комплекса опытно-конструкторских работ включает [4]:

- асинхронный электродвигатель привода АИРМ112М2У3 (мощностью 7,5 кВт, с частотой вращения 2895 мин⁻¹);
- бак (45 л) с установленным на его крышке асинхронным электродвигателем АИР80А4У3 с подкачивающим насосом БГ12-4УХЛ4 и фильтрами;
- нагреватель (1,5 кВт) калибровочного масла в баке (емкостью 45 л);
- систему термостабилизации калибровочного масла с двумя охладителями (радиатором) и датчиком для контроля температуры калибровочного масла ISO 4113, подаваемого к тестируемому компоненту(-ам) с заданным диапазоном настройки (40 ± 2 °C);
- ТНВД типа CR/CP3S3/R90/20-789S для создания высокого давления топлива в системе;
- беззаворную приводную муфту;

– аккумулятор топлива высокого давления с тремя клапанами регулировки давления RDS4-22;5V;M18x1.5;2700 BAR (0 281 006 245) и датчиком давления на 2701 МПа (BOSCH 0 281 006 246);

– систему фильтрации калибровочного масла, состоящую из трех фильтров Bosch 1 457 434 437;

– масло-бензостойкие топливопроводы диаметром 10 и 8 мм;

– полугибкие топливопроводы высокого давления топлива «PARKER»;

– блок управления «Поток CR2» для управления стендом, расширитель «Поток DRV» для управления клапанами ZME*2 канала и DRV*3 канала, совместно с измерительным блоком «Поток FM-8»;

– защитный экран с блокировкой его открытого состояния.

Определение параметров работы инжектора(-ов) CR производится по заданной программе, состоящей из тест-планов, с возможностью тестирования в ручном или автоматическом режиме.

Таким образом, в результате опытно-конструкторских работ существенно повышены функциональные возможности стенда, который позволяет [4]:

– проверять инжекторы CR фирм BOSCH, DENSO,

DELPHI, SIEMENS (VDO), PERKINS, CATERPILLAR, L'ORANGE и многих других;

– автоматически переключать напряжение питания (12 В/200 В) в зависимости от типа проверяемого инжектора CR;

– измерять частоту вращения электродвигателя стенда;

– управлять частотой вращения стенда;

– управлять направлением вращения электродвигателя стенда;

– управлять нагревателем и охладителем тестовой жидкости;

– управлять пускателем топливоподкачивающего насоса;

– осуществлять автоматическое, ручное либо внешнее управление созданием высокого давления в топливной рампе;

– обеспечить работу трех клапанов DRV и двух клапанов ZME;

– создавать пользовательские тест-планы для проверки инжекторов CR с созданием профиля сигнала (напряжение открытия, ток открытия, напряжения удержания, ток удержания, напряжение закрытия и др.);

– отображать графики изменения давления;

– формировать отчеты с результатами измерений в диагностической карте;

– подключаться к персональному компьютеру.

Диагностический стенд ДД 10-01 с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-8» и блоком управления «Поток CR2» после завершения работ по наладке размещен в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем кафедры «Технологии и организация технического сервиса» (1306) и способен выполнять проверку и тестирование инжекторов аккумуляторных топливных систем Common Rail.

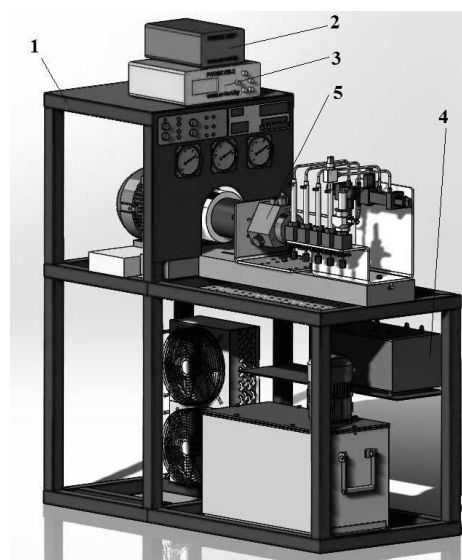


Рис. 5. Стенд ДД 10-01 после преобразований (общий вид): 1 – рама; 2 – расширитель «Поток DRV»; 3 – блок управления стендом и компонентами (ТНВД и инжекторы) «Поток CR2»; 4 – безмензурочная измерительная система «Поток FM-8»; 5 – стендовый ТНВД

Выводы

1. Выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений и функциональных возможностей наиболее распространенных моделей диагностических стендов («Smart-CRI» компании «ПОТОК» (Беларусь), «EPS-708» Robert Bosch GMBH (Германия), «CRI-PC» Hartridge (Англия),

«DCI 700» BOSCH (Германия)), а также отмечены наиболее значимые преимущества и недостатки моделей.

2. С учетом затрат на приобретение стендов подобного назначения отмечено, что наиболее оптимальным является решение модернизировать устаревшие стенды (на примере ДД 10-01) с минимальными затратами до уровня тестирования на них инжекторов Common Rail с давлением до 270 МПа.

3. Осуществлено комплексное функциональное преобразование диагностического стенда ДД 10-01. Дополнительно установлены: тестовый ТНВД, рейл на три регулятора и датчик давления топлива (все компоненты с номинальными значениями до 270 МПа); радиатор охлаждения тестовой жидкости; дополнительные фильтры для защиты высокоточной системы измерения от воздействия грязи и металлических частиц, выходящих из испытуемого ТНВД; оптический инкрементальный энкодер (для определения фазы нагнетания секцией ТНВД); топливopроводы и кронштейн для испытуемого ТНВД.

4. Разработан и используется специальный адаптер с датчиком давления для тестирования пульсаций давления топлива в различных точках гидравлической схемы стенда. Реализованы такие решения, как: автоматическое управление оборотами вала привода стенда и направлением его вращения; автоматическая термостабилизация; автоматический отсчет циклов; автоматическое определение производительности тестируемых инжекторов (используется «Поток FM-8»); автоматическое определение температуры тестовой жидкости по каждому каналу.

5. Диагностический стенд ДД 10-01 после преобразования с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-8» и блоком управления «Поток CR-2» позволяет выполнять проверку и тестирование инжекторов аккумуляторных топливных систем Common Rail автотракторных дизельных двигателей в большом диапазоне их модификаций.

Список использованных источников

1. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск : БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей : учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
3. Технический сервис дизельной топливной аппаратуры / Е. А. Пучин [и др.]. – М. : ТРИАДА, 2003 – 108 с.
4. Мухля, О. О. Повышение надежности и расширение функциональных возможностей стенда ДД-10-01 / О. О. Мухля, В. Н. Бобков, В. Е. Тарасенко // Техсервис-2021 : материалы науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Минск, 19–21 мая 2021 г. / Бел. гос. агр. техн. ун-т ; редкол.: Д. А. Жданко [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 22–26.
5. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с электронным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 52–57.
6. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с механическим и электронно-актуаторным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 58–64.
7. BOSCH. Системы управления дизельными двигателями : пер. с нем. – М. : ЗАО «КЖИ» «За рулем», 2004. – 480 с.
8. Дизели Д-245.53В, Д-245.253В, Д-245.553В, Д-245.43.53В. Руководство по эксплуатации 2453В-0000100РЭ / ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод». – Минск : ОГК, 2013 – 243 с.
9. Повышение надежности и расширение функциональных возможностей диагностического стенда для работы с ТНВД систем Common Rail / В. Е. Тарасенко [и др.] // Изобретатель. – 2019. – № 7 (235). – С. 44–47.