

ЭКСПРЕСС-ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПЛИВОПРОВОДОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЕННОГО ТИПА

Е.М. Таусенев, К.В. Кох, А.Е. Свистула, Е.А. Герман

Исследуются температуры воздуха и топливопроводов высокого давления в моторном отсеке сельскохозяйственного трактора. Доказывается влияние температуры воздуха в моторном отсеке на температуру топливопроводов высокого давления.

Ключевые слова: дизель, топливная система дизеля, моторный отсек, температура дизельного топлива, температура воздуха в моторном отсеке.

Введение

Согласно источника [1], при рядовых условиях дизельное топливо нагревается от 20...40 °С до 70...100 °С, двигаясь к соплам распылителя. То есть, происходит увеличение температуры на 50...60 °С. Это увеличивает сжимаемость на 25 % и уменьшает вязкость в 2,5 раза, что отрицательно влияет на процесс подачи топлива. К сожалению, в источнике [1] не уточняется, для какой топливной системы эти данные получены и при каких условиях.

Существенными тепловыми факторами в процессе топливоподачи являются: разогрев топлива в результате сжатия, теплопровод к топливу от стенок, диссипация механической энергии, фазовые переходы [1].

Благодаря анализу расчетных исследований, проведенному в работе [2], известно, что, например, при давлении топливоподачи 146 МПа и подогреве топливопроводов высокого давления до 65 °С доля повышения температуры топлива от сжатия составляет около 40 % и около 60 % составляет доля подогрева от стенок. То есть, наиболее значимым фактором является подогрев от стенок [2].

При возрастании давления топливоподачи доля подогрева от стенок будет уменьшаться, однако останется достаточно весомой. Например, исходя из рисунка 1 видно, что подогрев топлива при адиабатном сжатии и давлении 200 МПа составит 28 °С [3].

В источнике [1] делается однозначный вывод о том, что если температура топливопровода и топлива близки, то сжатое топливо передает тепло стенкам, если стенки топливопровода более горячие, чем топливо, то имеется необратимый рост температуры топлива в процессе топливоподачи.

Воздух в подкапотном пространстве автомобиля в жаркое время может нагревается

до 80...100 °С [4]. Такие же температуры могут быть характерны для тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных машин, работающих в теплое время года. Факт высокой температуры воздуха под капотом, вероятно, будет способствовать подогреву деталей топливоподающей аппаратуры (ТПА).

Исследования, представленные в источнике [5], проводились на тракторе Т-330 с дизелем воздушного охлаждения и показали следующие результаты: при температуре окружающей среды равной 37 °С и температуре масла в картере 90 °С, температура воздуха в моторном отсеке составила 74 °С, а температура топлива в топливном баке оказалась равной 43 °С.

Имеется информация о том, что температура воздуха в подкапотном пространстве зависит от типа и компоновки двигателя, времени года и суток, скорости движения. Разница температур воздуха под капотом и окружающей среды оказывается весьма заметной. В зависимости от температуры окружающей среды меняется и температура топлива в ТПА двигателя [6].

Зарубежные коллеги на дизеле Perkins 1006-60Т для внедорожной техники провели исследования влияния температуры топлива на входе в распределительный ТНВД (топливного насоса высокого давления) марки Delphi с механическим регулятором на крутящий момент и мощность [7]. Температура топлива изменялась путем подогрева в теплообменнике от 25 до 80 °С, в результате мощность снизилась на 19 %, массовая цикловая подача топлива снизилась на 9,5 %. То есть можно сделать вывод о том, что мощность снижается также за счет ухудшения процесса топливоподачи.

В диапазоне температур топлива 25÷45 °С удельной эффективный расход топлива

почти не изменяется, а далее более заметно растёт; мощность при температуре свыше 45 °С более интенсивно падает. Значит, обнаруживается наиболее приемлемый диапазон температур. Авторы статьи [7] говорят о некоем отраслевом стандарте температуры топлива на входе в ТНВД, видимо, установленном неофициально, поскольку ссылок на какие-либо документы нет.

В продолжение исследований теми же авторами изучается влияние температуры топлива на входе в ТНВД на выбросы выхлопных газов дизелей с прямым и непрямым впрыском. Рассмотрим результаты для дизеля с прямым впрыском, ввиду перспективности таких дизелей. Замеры выбросов отработавших газов производились при температуре топлива на входе в ТНВД, изменяющейся от 20 до 80 °С [8]. В работе делается вывод о незначительном влиянии температуры топлива на выбросы NO_x, СН, СО, СО₂, дымность, и что отраслевой стандарт на температуру топлива на входе в ТНВД может быть применен.

Авторы настоящей статьи сомневаются в необходимости использования указанного стандарта, т. к. после ТНВД в различных системах топливо будет нагреваться до разных температур по причине отличия длины ЛВД, давления нагнетания топлива, а также величины подогрева топлива в форсунке и распылителе. Например, из работы [9] ясно, что подогрев топлива в распылителе зависит от геометрических параметров распылителя и топливоподдачи. Указанные причины дают основания говорить о том, что температура топлива на входе в ТНВД не может быть стандартизована.

Материалы ещё одной работы подтверждают, по большей части, отрицательное воздействие подогрева топлива для дизелей, использующих в качестве топлива рапсовое масло [10].

На сегодняшний день не изучено, насколько сильно температура воздуха под капотом влияет на температуру топливопроводов, а значит и топлива. Нельзя исключать, что их значительный подогрев может происходить в результате теплопередачи от других деталей двигателя.

Цель и задачи исследования

Целью изучить влияние моторного отсека на тепловое состояние топливопровода высокого давления дизельной ТПА непосредственного действия. Задачами исследования поставлены следующие:

- определить температуры воздуха и линии высокого давления (ЛВД) возле штуцера ТНВД сразу после открытия и через 5 и 6 минут после открытия капота моторного отсека;

- определить температуры воздуха и ЛВД возле штуцера форсунки сразу после открытия и через 5 и 6 минут после открытия капота моторного отсека (этого времени, предположительно, будет достаточно для стабилизации температурного поля ЛВД);

- сделать вывод о причинах нагрева ЛВД в моторном отсеке с закрытым капотом.

Объект исследования

Представленное исследование проводилось на колесном сельскохозяйственном тракторе К-744 Р2 (Рисунок 1), произведенном в 2007 г. на ЗАО «Петербургский тракторный завод», укомплектованном дизелем ТМЗ 8481.10 производства ОАО «Тутаевский моторный завод». Двигатель ТМЗ 8481.10 является V-образным, 4-х тактным, 8-и цилиндровым дизелем с турбонаддувом и охлаждением наддувочного воздуха, размерностью 14/14, удельный эффективный расход топлива составляет не более 240 г/кВт·ч при номинальных мощности 257 кВт и частоте вращения 1900⁺⁵⁰ мин⁻¹.

На указанный дизель установлена ТПА непосредственного действия разделенного типа с рядным ТНВД марки ЯЗТА «Компакт 40» модели 171-10 с механическим регулятором и гидромеханическими форсунками (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Трактор К-744 Р2

В моторном отсеке дизеля установлены радиаторы кондиционера, гидросистемы, гидромеханической трансмиссии, системы охлаждения дизеля.

ЭКСПРЕСС-ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПЛИВОПРОВОДОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЕННОГО ТИПА

В качестве объекта исследования выступают топливопроводы высокого давления, изучаемые на предмет их теплового состояния.

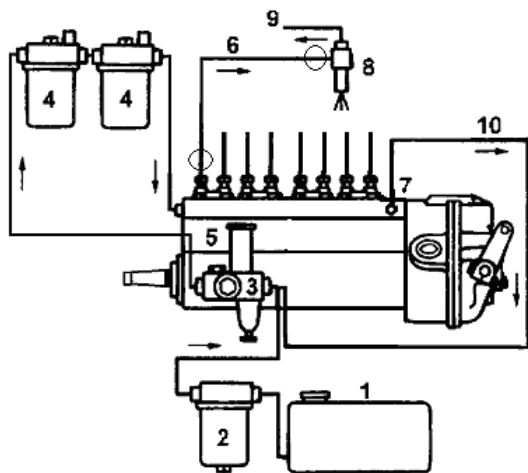


Рисунок 2 – Топливная система дизеля ТМЗ 8481.10:

- 1–топливный бак; 2–фильтр грубой очистки;
- 3–топливоподкачивающий насос; 4–фильтр тонкой очистки; 5–топливный насос высокого давления;
- 6 – линия высокого давления Ø7 мм;
- 7–перепускной клапан; 8–форсунка; 9–дренажный топливопровод; 10–топливопровод перепуска топлива Ø12 мм; О–места замеров температур топливопровода.

Методы исследования

В приведенном исследовании используются экспериментальные методы.

У авторов статьи не было достаточно времени на подготовку к замерам температур воздуха и топливопроводов с помощью термомпар. Поэтому, было принято решение определять температуру воздуха в моторном отсеке с помощью 3-х жидкостных ртутных технических термометров ТТЖМ, закрепленных как можно ближе к штуцерам ТНВД и форсунок. Поскольку дизель ТМЗ 8481.10 является V-образным, то для измерения температуры воздуха возле штуцеров форсунок потребовалось закрепить 2 термометра по левому и правому ряду цилиндров дизеля.

В результатах замеров температуры воздуха учитывалась поправка в связи с отличием температуры при градуировке и эксплуатации термометров.

Измерения температур наружной поверхности ТВД выполнялись бесконтактным инфракрасным термометром DT-8861 с лазерным прицелом и возможностью настройки коэффициента черноты ε . Места замеров

ПОЛУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4/3 2013

(Рисунок 2) предварительно окрашивались черной краской для точной настройки термометра по параметру ε , поскольку значение ε для окрашенной поверхности является известным и равно 0,93. Эта подготовительная операция позволяет повысить точность таких измерений.

Так как указанные средства измерений не позволяют снимать с них показания дистанционно, то возникала необходимость для этого останавливать трактор без остановки дизеля, открывать капот и в короткий промежуток времени снимать показания с термометров. Для выполнения 1-го цикла измерений было сделано 3 остановки трактора. После 1-й – считывались показания с 3-х термометров ТТЖМ, после 2-ой - измерялись температуры ЛВД перед крышкой клапанов по левому и по правому ряду цилиндров, после 3-й - измерялась температура ЛВД возле штуцера ТНВД. Перед тем, как остановить трактор его ориентировали по направлению ветра.

Авторы настоящей статьи осознают тот факт, что сразу после открытия капота условия теплообмена в моторном отсеке изменяются, что вносит неопределенную погрешность в результаты измерений. При этом авторы уверены, что эта погрешность невелика, позволяет оценить уровень температур, и добиться цели исследования.

Те же действия выполнялись через 5 и 6 минут после открытия капота моторного отсека. Всего было выполнено 3 цикла повторяющихся измерений. Осуществление замеров через 5 и 6 минут после открытия капота позволит сделать вывод о причинах нагрева ЛВД в моторном отсеке с закрытым капотом во время работы трактора. Погрешности всех средств измерений удовлетворяют цели исследования и приведены в п. 4.

Результаты исследования

Результаты получены 27.06.2013 г. при выполнении трактором боронования пашни и следующих погодных условиях: погода ясная, температура воздуха в тени 25 °С, ветер северо-восточный 7 м/с, атмосферное 733 мм рт. ст., влажность воздуха 15 %. Температура топлива в баке до начала испытаний равнялась 20 °С. Дизель в процессе испытаний был полностью прогрет: температура охлаждающей жидкости и моторного масла равнялась 85 °С.

Давление в системе смазки двигателя составляло 3,5 кгс/см². Частота вращения коленчатого вала дизеля измерялась борто-

вым тахометром и в процессе испытаний находилась на уровне 1900 мин^{-1} . Рычаги управления трансмиссией находились в положении: режим - 3, передача – 2.

Согласно паспорта на трактор, скорость движения при номинальном тяговом усилии должна составлять не 9,9 км/ч. В ходе данных исследований скорость движения равнялась

14 км/ч при частоте вращения, соответствующей номинальному значению, т.е. мощность дизеля и цикловая подача топлива были на уровне 71 % от их номинальных значений.

Результаты замеров температур воздуха и ТВД приведены в таблице.

Таблица - Результаты замеров температур воздуха и ТВД

Момент измерения температуры	Температура ЛВД/воздуха перед крышкой клапанов левого ряда цилиндров, °С	Температура ЛВД/воздуха у штуцеров ТНВД, °С	Температура ЛВД/воздуха перед крышкой клапанов правого ряда цилиндров, °С
Сразу после открытия капота	$70 \pm 0,7 / 74 \pm 2$	$66 \pm 0,7 / 72 \pm 2$	$70 \pm 0,7 / 74 \pm 2$
Через 5 и 6 мин после открытия капота	$46 \pm 0,5 / 41 \pm 2$	$43 \pm 0,5 / 40 \pm 2$	$46 \pm 0,5 / 41 \pm 2$

Анализ таблицы показывает, что подогрев стенок ЛВД при открытом капоте происходит на $21 \text{ }^\circ\text{C}$ относительно температуры атмосферного воздуха равной $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Подогрев стенок ТВД при закрытом капоте происходит ещё на $24 \text{ }^\circ\text{C}$, что составляет 53,3 % от общего подогрева ЛВД относительно температуры атмосферного воздуха. Отсюда следует, что наибольший подогрев дизельного топлива происходит в результате теплообмена стенок ЛВД с воздухом в моторном отсеке.

Остальными составляющими подогрева ТВД являются подогрев топлива от сжатия и в результате теплопередачи от контактирующих деталей двигателя.

Заключение

В проведенном исследовании впервые изучено и доказано влияние моторного отсека и теплопередачи от контактирующих деталей двигателя на температуру топливопровода высокого давления дизельной ТПА непосредственного действия. Проведенные ранее исследования с искусственным подогревом топливопровода дают основание говорить о том, что этот факт приведет к нагреву топлива, помимо нагрева топлива от сжатия.

Можно предполагать, что для линии низкого давления, проходящей по моторному отсеку, характерны вышеуказанные процессы.

Полученные результаты показывают необходимость дальнейших исследований и совершенствования ТПА рассмотренного типа и других существующих систем с целью уменьшения температуры топлива.

На сегодняшний день в ТПА непосредственного действия с механическим управле-

нием с подогревом топлива борются в линии низкого давления с помощью выбора схемы циркуляции топлива и параметров топливоподкачивающего насоса. Он проектируется с запасом по производительности и напору [11]. Если в ТПА непосредственного действия имеется электронное управление, то в ТНВД устанавливается датчик температуры топлива и система управления изменяет цикловую подачу и угол опережения впрыска зависимости от температуры топлива [12].

На автомобилях нового поколения Mazda 3, 5, 6 с топливной системой Common Rail (CR) системы управления впрыском топлива содержат датчик температуры топлива и учитывают его показания также как для ТПА непосредственного действия с электронным управлением [13, 14].

В одних случаях указанный датчик встроен в распределитель возврата топлива, в других – в ТНВД.

К сожалению, в источниках [12, 13] не указывается, в полость с каким давлением, устанавливается датчик температуры топлива, находящийся в ТНВД.

Дополнительно, в некоторых конструкциях систем CR, например фирмы Bosch на автомобиле Mercedes-Benz C220 CDI перед топливным баком имеется жидкостный охладитель топлива, сливающегося из форсунок. Для охлаждения используется моторное масло пониженной температуры [1].

На автомобилях Skoda Fabia с системой CR в нижней части автомобиля устанавливается воздушный топливный радиатор. Имеется также датчик температуры топлива [15].

Коллектив авторов данной статьи предполагает, что проблема подогрева топливо-

ЭКСПРЕСС-ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПЛИВОПРОВОДОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЕННОГО ТИПА

проводов высокого давления, а значит и топлива, актуальна для проектируемых систем Common-Rail с давлением впрыска до 3000 бар [16], поскольку в них температура топлива после сжатия, скорее всего, не превысит температуру воздуха в моторном отсеке и температуру нагрева от контактирующих деталей.

Авторами представленной статьи разрабатываются и будут запатентованы новые технические решения по снижению теплового воздействия горячего воздуха моторного отсека на температуру топлива в топливной системе, а также по более точному дозированию топлива в зависимости от его температуры для аккумуляторных и топливных систем непосредственного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Таусенев Е.М. Проблема саморазогрева топлива в дизелях//Материалы всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности механизации сельскохозяйственного производства». Сборник научных трудов. Чебоксары: ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2011. С. 199-203.
3. Программный комплекс "ВПРЫСК"// energy.power.bmstu.ru: сервер Московского государственного технического университета. 2011. URL. <http://www.energy.power.bmstu.ru/e02/inject/i00rus.htm> (дата обращения: 15.08.2013).
4. Баженов С.П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов: учебник для вузов / С.П. Баженов, Б.Н. Казьмин, С.В. Носов; под ред. С.П. Баженова – М.: Изд-во Центр «Академия», 2005. – 400 с.
5. Испытание тракторов Т-330 № 15,16 в условиях высоких температур и запыленности воздуха: отчет о НИР (заключ.) / Челябинский филиал НАТИ и ПО "ЧТЗ имени В.И. Ленина"; рук. Вольных В.И.; исполн.: Аникин Г.В., Дергачев Л.Ф. [и др.]. - Челябинск. - 1978. – 58 с.
6. Эксплуатация автомобиля в неблагоприятных условиях//История автомобилестроения: сайт по автомобилестроению. – 2011. - URL. <http://www.alechenkov.ru/zkspluatazuz/qkspluatazua/index.html> (дата обращения: 17.06.2011).
7. Foster D. B.; Jung W. Einfluss der Kraftstoff-Eingangstemperatur auf die Leistungs- und Drehmoment-werte von Dieselmotoren. In: MTZ 63 (2002), Nr. 4, S. 296–301.
8. Foster D. B.; Jung W. The Influence of the Fuel Inlet Temperature on Diesel Engine Exhaust Gas Emissions. In: MTZ 64 (2003), Nr. 4, S. 7–8.
9. Byatt-Smith, J.; Day, R.; Harlen, O.; Lister, J.; Smith, S.L.; Please, C.P.; Stone, R.; Howison, S.D.; Fowler, A. Temperature of diesel fuel spray at injector nozzle hole exit: study Group Report//Mathematics in Industry: the International Study Groups Website. – 2011.-URL. <http://www.maths-in-industry.org/miis/327/> (дата обращения: 16.08.2013).
10. Шашев А.В. Совершенствование рабочего процесса дизеля с объемно-плёночным смесеобразованием при использовании в качестве топлива рапсового масла: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Барнаул, 2007, 135 с.
11. Габитов И.И. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей/Грехов Л.В., Неговора А.В., М.: Легион-Автодата, 2008. 248 с.
12. Системы управления дизельными двигателями.– М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004.– 480 с.
13. Система управления впрыском топлива. Система впрыска Common Rail фирмы Denso //Руководство по ремонту "Mazda 3": сайт по автомобилестроению. – 2013. - URL. <http://axela-mazda.narod.ru/sistem/sistema-upravlenija-vpryskom-topliva-dns.html> (дата обращения: 16.08.2013).
14. Система управления впрыском топлива. Система впрыска Common Rail фирмы Bosch//Руководство по ремонту "Mazda 3": сайт по автомобилестроению. – 2013. - URL. <http://axela-mazda.narod.ru/sistem/sistema-upravlenija-vpryskom-topliva-bosch.html> (дата обращения: 16.08.2013).
15. Автомобили Skoda Fabia 2000-2007 г.в. // Руководства по ремонту и эксплуатации легковых автомобилей: сайт по автомобилестроению. – 2013.-URL. <http://www.navigator.mn/skoda-fabia/sistema-pitaniya/zamena-toplivnogo-radiatora.html> (дата обращения: 16.08.2013).
16. Shinohara Y., Takeuchi K., Herrmann O.E., Laumen H.J. Common-Rail-Einspritzsystem mit 3000 bar. In: MTZ 72 (2011), Nr. 1, S. 10–15.

Таусенев Е.М., к.т.н.,
докторант кафедры ДВС,
e-mail: tausenev_e_m@bk.ru

Кох К.В., инженер,
аспирант кафедры ДВС,
Свищула А.Е., д.т.н., проф.,
заведующий кафедрой ДВС,
e-mail: sae59@mail.ru

Герман Е.А., к.т.н.,
доцент кафедры ДВС,
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, Барнаул