



Scientific quarterly journal e-ISSN 2449-5999

Agricultural Engineering

2015: 3(155):69-81

Homepage: <http://ir.ptir.org>



DOI: <http://dx.medra.org/10.14654/ir.2015.155.137>

MODERNIZATION OF A CONTROL SYSTEM OF DIESEL OIL AND METHANOL MIXTURE INJECTION IN THE DIESEL ENGINE

Sergej Plotnikov¹, Piotr Savinych², Wiesław Golka^{3*}, Jan Radosław Kamiński⁴

¹ Viatka University in Kirov, Russia

² Scientific and Research Institute of Agriculture of North-East in Kirov, Russia

³ Institute of Technology and Life Sciences, Masovian Research Centre in Kłudzienko

⁴ Department of Agricultural and Forest Machinery, Warsaw University of Life Sciences - SGGW

*Contact details: Kłudzienko, 05-825 Grodzisk Mazowiecki, e-mail: w.golka@itep.edu.pl

ARTICLE INFO

Article history:

Received: January 2015

Received in the revised form:

March 2015

Accepted: June 2015

Keywords:

tractor
diesel
engine

ABSTRACT

The use of diesel oil and methanol mixture in a Diesel engine requires modernization of old fuel injection control systems or development of new ones. Therefore, few options of structural solutions of the fuel injection system have been developed. The objective of the paper was to develop a structure of control elements of fuel injection in a Diesel engine which works with diesel oil and methanol mixtures, diesel oil and biogas mixtures, to check their practical utility and formulate indications. The control systems of multi-fuel Diesel and gas engines as well as two types of submerged high-pressure regulators were discussed. Characteristics of engine power, torque, unit and hour fuel consumption in the function of rotational speed with the use of Diesel D-21A1 engine were defined. The impact of methanol addition to diesel oil on the power and other performance indexes of a Diesel engine were determined. Two structural variants of the submerged fuel regulator were positively evaluated. The described solutions obtained a patent right and a patent protection and have been introduced to production in the Flow Machines Unit in Nikopol (Russia) and are used by the Central Scientific and Research Institute of Diesel Fuels in Saint Petersburg with work on improvement of Diesel engines.

Введение

Различные способы применения метанола в тракторных дизелях требуют модернизации старых или разработки новых систем регулирования топливоподачи (Zajac и Piekarski, 2003; Van Gerpen и др., 2007; Плотников, 2011; Pasuniuk, 2014).

При этом неперемным условием считается обеспечение работы дизеля по всережимной характеристике при сохранении его основных показателей работы на уровне серийного, работающего на чистом дизельного топлива (ДТ) (Zajac и др., 2008; Воронков и Шишов, 2010; Ляхов и Кошля, 2013; Golimowski, 2013).

На рис. 1. показана оригинальная схема системы регулирования топливоподачи многотопливного дизеля. Схема разрабатывалась для регулирования топливоподачи метано-топливных эмульсий и других жидких альтернативных топлив.

Основным конструктивным отличием схемы от применяющихся является то, что кинематическая связь главного (основного) рычага регулятора с рейкой насоса выполнена здесь в виде двух полутяг 7, соединенных между собой с помощью вильчатого П-образного рычага 8. Вильчатый рычаг устанавливается на дополнительном валике, вмонтированном в боковую крышку регулятора. Узлы соединения полутяг 10 с концами вилки 8 выполнены в виде вращающихся шарниров, которые могут перемещаться вдоль вильчатого рычага.

При работе системы регулирования рейка 6 насоса перемещается по закону движения конца основного рычага 3 с коэффициентом пропорциональности, равным отношению длин радиусов поворота точек крепления полутяг.

Изменяя соотношение радиусов поворота узла 11 относительно радиуса поворота узла 10 обратно пропорционально отношению теплоты сгорания метанола (или иного жидкого топлива) по отношению к теплоте сгорания ДТ можно добиться сохранения установленного закона подвода теплоты в цилиндры дизеля при его работе на топливе с теплотой сгорания, отличной от теплоты сгорания ДТ.

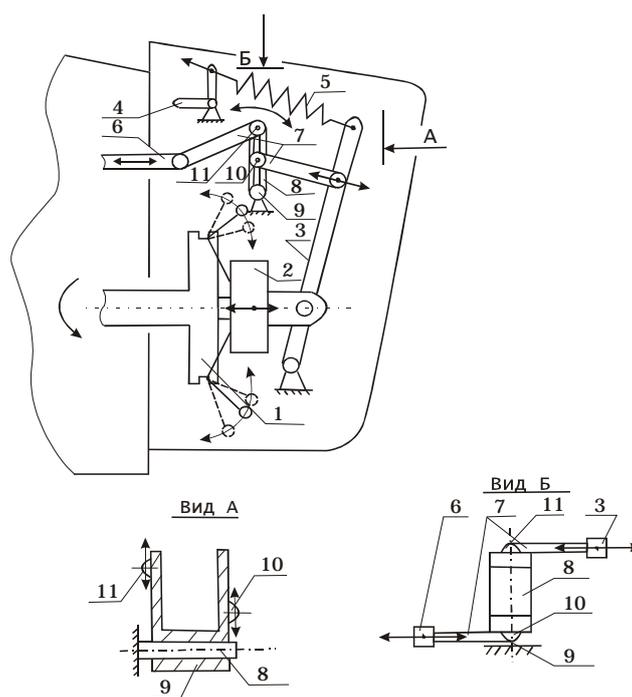


Рисунок 1. Система регулирования многотопливного дизеля: 1 – центробежный датчик; 2 – муфта; 3 – главный рычаг; 4 – рычаг управления; 5 – пружина; 6 – рейка; 7 – полутяги; 8 – вильчатый рычаг; 9 – дополнительный вал; 10, 11 – узлы соединения полутяг с вилкой

При этом диапазон изменения теплоты сгорания нового топлива по отношению к теплоте сгорания ДТ может изменяться от 0,25 до 4, охватывая весь возможный перечень жидких альтернативных топлив, топливных эмульсий и композиций.

Изменение положения шарниров 11 для работы на жидком альтернативном топливе может производиться во время регулировки топливным насосом высокого давления (ТНВД) или во время эксплуатации. При работе на товарном ДТ шарниры устанавливаются на одинаковом уровне.

Работоспособность системы обеспечивается конструктивно заданным запасом активного хода плунжера. Одновременно обеспечивается работа дизеля на новых топливах по всережимной характеристике.

Новизна разработанной конструкции защищена патентом РФ № 2044908 МКИ⁵ F 02 D 1/04, 1/10 (Болотов и Плотников, 2004; Гушин и др., 2004).

Техническое решение конструкции топливной системы использовано в Центральном Научно-Исследовательском дизельном институте в Санкт-Петербурге (ЦНИДИ) в проводимых работах по созданию новых видов высокоэффективных дизелей. Конструкция системы взята для использования в производстве Ногинским заводом дизельной топливной аппаратуры для установки на топливном насосе высокого давления (ТНВД) типов 4УТНМ, 2УТНМ.

Система регулирования газообразного топлива

Для работы дизеля на испаренных или газообразных топливах с воспламенением от запальной порции ДТ (по газодизельному циклу) было разработано несколько конструктивных схем.

На рис. 2. показана оригинальная схема системы регулирования топливоподачи газообразного или испаренного топлива.

Новизна конструкции системы заключается в том, что жесткая связь основного рычага регулятора с дозатором жидкого топлива (ДТ) разорвана. Воздействие его на дозатор осуществляется через двуплечий рычаг, один из концов которого выполнен в виде подпружиненного сектора. Одновременно основной рычаг регулятора через систему тяг вызывает перемещение заслонки дозатора. При этом заслонка дозатора перемещается всегда, даже при отсутствии подачи газообразного топлива и работе дизеля на ДТ.

Система регулирования работает следующим образом.

Воздействие водителя в кабине на педаль вызывает перемещение рычага управления регулятором 2 и задает скоростной режим работы дизеля. Подвижная вращающаяся муфта с грузами 3 регулятора за счет изменения центробежной силы грузов вызывает перемещение главного (основного) рычага регулятора 4.

Если дизель работает на ДТ, то основной рычаг регулятора воздействует на подпружиненный сектор 5, вызывая работу органа дозирования.

При работе дизеля на газообразном (испаренном) топливе двуплечий рычаг 7 фиксируется в положении, соответствующем подаче запальной дозы ДТ. При этом газообразное топливо поступает в дозатор 11. Регулирование его подачи также осуществляется основным рычагом регулятора через двуплечий рычаг 17, систему тяг и заслонку 13.

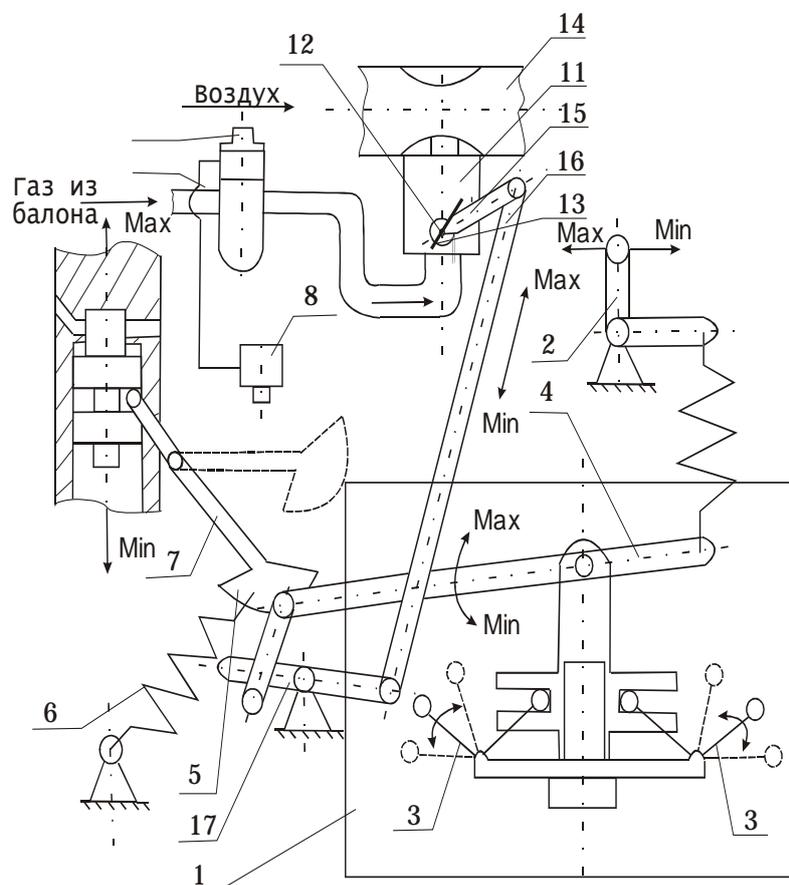


Рисунок 2. Система регулирования газообразного (испаренного) топлива: 1 – центро-бежная муфта; 2 – рычаг управления регулятором; 3 – грузы; 4 – главный (основной) рычаг; 5 – сектор; 6 – пружина сектора; 7 – двулучий рычаг; 8,9 – органы переключения режимов работы дизеля; 10 – проводник; 11 – дозатор; 12 – спиральная пружина; 13 – заслонка; 14 – смеситель; 15 – рычаг заслонки; 16 – тяга; 17 – двулучий рычаг

Разработанная схема системы регулирования отличается значительной простотой и надежностью в сравнении со схемами, применяющимися ранее. Схема может быть использована для регулирования топливоподачи как испаренного топлива (метанола), так и другого газообразного топлива.

Новизна конструкции рассмотренной системы регулирования защищена авторским свидетельством СССР № 1709125 МКИ⁴ F 02 D 19/06 (Лиханов и др., 2006а; 2006б). Техническое решение конструкции системы регулирования использовано в научно-исследовательской работе (НИР) по созданию макетного образца трактора Т-25А при работе на газе (тема 43.91.00.84-50.1580), а также

использовано в Центральном Научно-Исследовательском дизельном институте в Санкт Петербурге (ЦНИДИ) в проводимых работах по созданию новых видов высокоэффективных дизелей.

Оценка мощности и экономических показателей дизеля Д-21А1

Для оценки изменения мощностных и экономических показателей дизеля Д-21А1 в зависимости от частоты вращения были сняты внешние скоростные характеристики при его работе на ДТ и по газодизельному циклу с топливным насосом, модернизированным согласно рис. 3. Методика испытаний предусматривала поддержание одинаковых значений среднего эффективного давления.

Как видно из данных (рис. 3), применение предложенной конструкции системы регулирования позволяет обеспечить работу дизеля, как на дизельном топливе, так и по газодизельному циклу по всережимной характеристике, то есть автоматически изменять подачу ДТ или газа в зависимости от скоростного и нагрузочного режима работы дизеля.

При этом мощностные и экономические показатели работы дизеля изменяются незначительно.

В качестве недостатка такой системы регулирования следует отметить отклонение закона подачи теплоты в цилиндры дизеля с альтернативным топливом от закона, заданного заводом-изготовителем на некоторых промежуточных режимах работы дизеля.

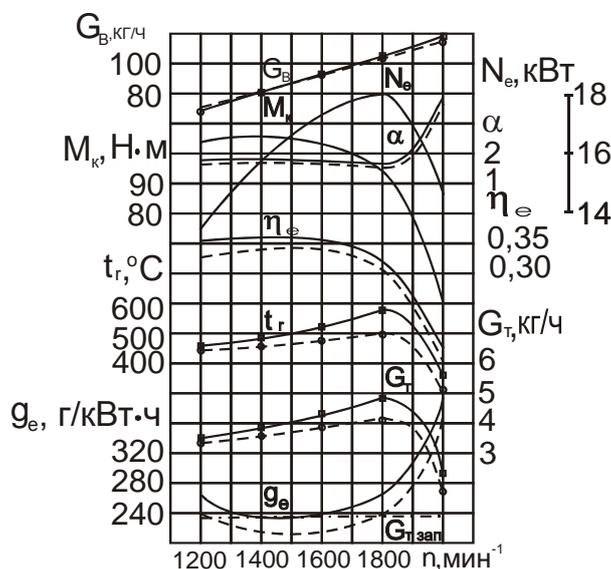


Рисунок 3. Влияние применения МТЭ на мощностные и эффективные показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от частоты вращения: — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс

С целью устранения этого недостатка аналитическими выкладками были определены величины отмеченных отклонений, найдены законы движения различных точек кинематической схемы и рассчитаны точные величины ее составляющих.

Система регулирования топливоподачи газообразного топлива

В результате была разработана система регулирования, в которую на основании проведенных расчетов были внесены изменения. На рис. 4 показана упрощенная кинематическая схема системы регулирования топливоподачи газообразного (испаренного) топлива с учетом проведенных доработок.

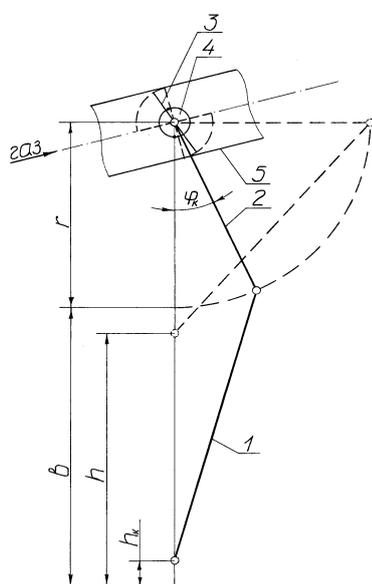


Рисунок 4. Схема системы регулирования: 1 – основной рычаг регулятора; 2 – тяга; 3 – кривошип; 4 – заслонка

Отличительным конструктивным решением в данной системе регулирования является то, что размеры составляющих кинематической схемы привода заслонки строго определенного значения. При этом пропорциональному изменению перемещения органа дозирования ДТ здесь соответствует пропорциональное изменение проходного сечения дозатора за счет неравного значения углов поворота заслонки. Это значит, что соблюдается линейная зависимость подачи теплоты с ДТ и испаренным или газообразным топливом.

Необходимое количество подаваемой с газообразным топливом теплоты достигается изменением проходного сечения воздушного тракта. Момент нулевой подачи ДТ соответствует закрытому положению заслонки, а момент максимальной подачи ДТ – полностью открытому ее положению.

Схем, аналогичных разработанной по техническому исполнению и функциональным возможностям, до настоящего времени в литературе не представлено. Показанная конструкция защищена патентом РФ № 2119078 МКИ⁶ F 02 D 19/06, F 02 M 21/02, F 02 B 69/04 (Лиханов и др., 2006б).

Система регулирования многотопливного дизеля

Для обеспечения возможности одновременного регулирования и количества, и состава смесевое топлива, подаваемого в цилиндры дизеля, в ходе исследований была разработана система регулирования многотопливного дизеля. Конструкция и отличительные особенности системы показаны на рис. 5 и 6.

Дело в том, что для нормальной работы дизеля желательно различное соотношение основного и дополнительного топлива в смеси при больших подачах (в режиме перегрузки) и малых подачах (в режиме холостого хода).

Указанное обстоятельство объясняется различными характеристиками самовоспламенения и горения основного (дизельного) и дополнительного (метанола) топлив.

При пониженных характеристиках самовоспламеняемости метанола работа дизеля при больших подачах (в режиме перегрузки) на том же соотношении основного и дополнительного топлив, что и при номинальной подаче будет характеризоваться чрезмерным повышением жесткости работы. Работа же дизеля при малых подачах (в режиме холостого хода) будет сопровождаться ростом периода задержки воспламенения, снижением давления в цилиндре. Оба обстоятельства вызовут снижение мощности и экономичности дизеля.

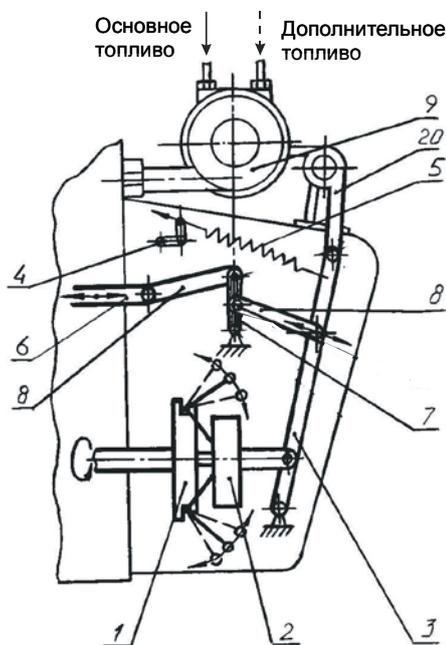


Рисунок 5. Система регулирования многотопливного дизеля:

- 1 – центробежный датчик;
- 2 – подвижная муфта; 3 – главный рычаг;
- 4 – рычаг управления;
- 5 – пружина; 6 – орган дозирования топлива;
- 7 – вильчатый рычаг;
- 8 – промежуточные тяги;
- 9 – смеситель-дозатор основного и дополнительного топлива;
- 10 – корпус; 11 – канал подвода основного топлива;
- 12 – канал подвода дополнительного топлива;
- 13 – смесительная камера; 14 – канал отвода смесевое топлива;
- 15 – стенка; 16 – смеситель; 17 – вал;
- 18 – диск; 19 – рычаг привода;
- 20 – двуплечий рычаг

Сохранение установленного заводом-изготовителем закона подвода теплоты улучшает эксплуатационные и показатели долговечности дизеля.

Таким образом, разработанные конструкции систем регулирования топливоподачи могут быть использованы при работе тракторных дизелей на топливах с присутствием метанола.

Модернизация и разработка новых элементов топливной системы

Разработка новых систем питания тракторного дизеля для его работы на метаноле в качестве одной из составляющих включала в себя модернизацию и разработку новых элементов топливной системы.

Поскольку создание систем регулирования топливоподачи альтернативных топлив – одна из центральных задач их применения, с целью облегчения ее реализации было предложено достаточно простое решение – модернизация плунжерных пар ТНВД.

Серийные плунжерные пары рассчитываются под работу на ДТ с серийным регулятором частоты вращения. Активный ход плунжера и ход рейки ТНВД при этом согласованы. Применение альтернативных топлив требует изменения активного хода плунжера при постоянстве скоростных режимов дизеля. С этой целью разработаны модернизированные конструкции плунжерных пар.

На рис. 7 показана конструкция плунжера с измененными характеристиками.

Основное отличие плунжера от серийно выпускаемых состоит в том, что угол наклона винтовой канавки к горизонту α изменен пропорционально отношению теплоты сгорания ДТ и метанола-топливной эмульсии и составляет 44° . Применение таких плунжерных пар позволяет без внесения изменений в конструкцию регулятора добиться сохранения установленного заводом-изготовителем для ДТ закона подвода теплоты в цилиндры дизеля для метанола-топливных эмульсий с требуемым содержанием метанола.

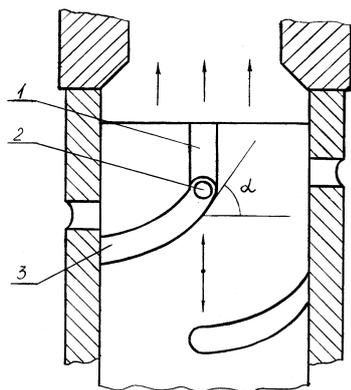


Рисунок 7. Плунжер ТНВД:
1 – осевой канал; 2 – радиальный канал; 3 – винтовая канавка

Новизна конструкции такого плунжера защищена патентом РФ № 2100639 МКИ⁶ F 02 М 59/00, 59/44 (Болотов и др., 2000; 2002).

На рис. 8 показана другая конструкция плунжера ТНВД.

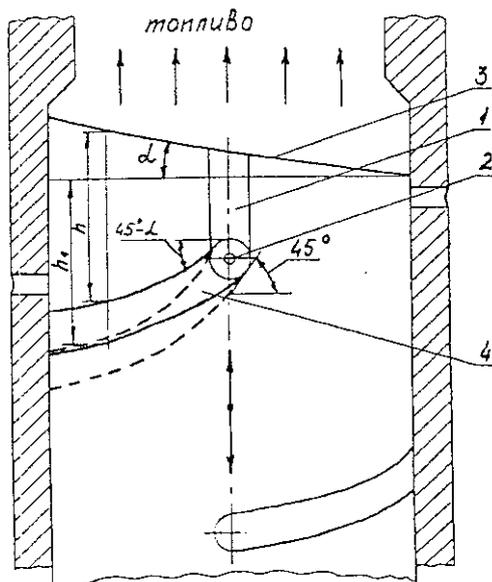


Рисунок 8. Плунжер ТНВД:
1 – центральное отверстие;
2 – диаметральный канал;
3 – верхняя торцевая кромка;
4 – винтовая канавка

Основным отличием такого плунжера от серийных является то, что верхняя торцевая кромка его выполнена под углом α к горизонту, а наклон винтовой канавки уменьшен на эту же величину. Такое конструктивное решение несет в себе сразу два преимущества:

Во-первых, угол наклона винтовой канавки, как и на рис. 7, зависит от соотношений теплоты сгорания ДТ и метанола с уже описанными ранее достоинствами.

Во-вторых, выполнение верхней торцевой кромки под углом к горизонту позволяет пропорционально изменению активного хода плунжера (изменению нагрузки дизеля) при его повороте пропорционально менять момент начала топливоподачи, то есть угол опережения впрыскивания топлива.

Новизна конструкции такого плунжера защищена патентом РФ № 2108480 МКИ⁶ F 02 М 59/02, 59/44 (Болотов и др., 2002).

Оба описанных конструктивных решения внедрены в производство на Ногинском заводе дизельной топливной аппаратуры и использованы ЦНИДИ в работах по созданию новых видов высокоэффективных дизелей.

На рис. 9. показана плунжерная пара из опытной партии плунжерных пар, выпущенных Николаевским заводом трубопроводной аппаратуры ОАО «НЗТА» по

схеме, приведенной на рис. 7. Проведенные испытания подтвердили правильность внесенных в их конструкцию изменений.



Рисунок 9. Общий вид сменной плунжерной пары с измененным углом наклона винтовой канавки

Для оценки изменения мощностных и экономических показателей дизеля Д-21А1 в зависимости от частоты вращения были сняты внешние скоростные характеристики на ДТ и метаноле-топливной эмульсии (МТЭ) с топливным насосом, модернизированным для подачи МТЭ (рис. 10). Методика испытаний предусматривала поддержание одинаковых значений среднего эффективного давления.

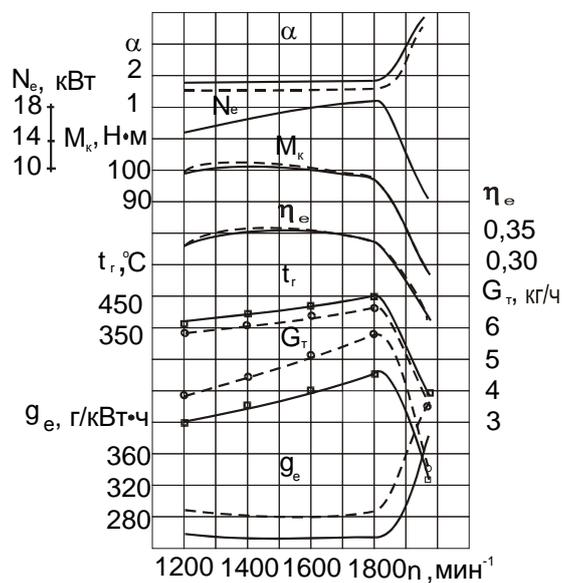


Рисунок 10. Влияние применения МТЭ на мощностные и эффективные показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от частоты вращения: — — ДТ; - - - - 35% метанола в топливе

При работе на чистом ДТ топливный насос комплектовался серийными плунжерными парами, а при работе на МТЭ – плунжерными парами новой конструкции (рис. 9).

Как видно из данных рис. 10, применение плунжерных пар предложенной конструкции позволяет обеспечить работу дизеля как на дизельном топливе, так и на метаноле-топливной эмульсии по всережимной характеристике, то есть автоматически изменять подачу ДТ или МТЭ в зависимости от скоростного и нагрузочного режима работы дизеля.

Выводы

На основании изложенного могут быть сформулированы следующие выводы.

1. Различные способы применения метанола в тракторных дизелях требуют модернизации старых или разработки новых систем регулирования топливоподачи.
2. Разработанные конструкции систем регулирования топливоподачи могут быть использованы при работе тракторных дизелей на топливах с присутствием метанола по всережимной характеристике.
3. Применение рассмотренных конструкций плунжерных пар позволяет упростить системы регулирования топливоподачи дизеля, работающего с применением метанола.

Литература

- Болотов, А.К., Плотников, С.А. (2000). *Плунжер топливного насоса высокого давления*. Патент РФ № 2100639, МКИ⁶ F 02 M 59/00, 59/44, 2 ил.
- Болотов, А.К., Плотников, С.А. (2002). *Плунжер ТНВД*. - Патент РФ № 2108480, МКИ⁶ F 02 M 59/02, 59/44, 1 ил.
- Болотов, А.К., Плотников, С.А. (2004). *Система регулирования многотопливного дизеля*. Патент РФ № 2044908, МКИ⁵ F 02 D 1/04, 1/10, 4 ил.
- Гущин, С.Н., Плотников, С.А., Ярков, М.И. (2004). *Система регулирования многотопливного дизеля*. Положительное решение от 31.08.04. по заявке 2003120836/06(022013).
- Gólimowski, W. (2013). *Dobór surowca do produkcji biopaliw do pojazdów rolniczych*. Inżynieria w Rolnictwie. Monografie 14 ISBN 978-83-62416-63-9.
- Лиханов, В.А., Попов, В.М., Плотников, С.А., Хлыбов, М.Н. (2006а). *Система регулирования газодизеля*. А.с. СССР № 1709125, МКИ F 02D 19/06, 1 ил.
- Лиханов, В.А., Наврозов, В.В., Сычев, А.В., Плотников, С.А. (2006б). *Система регулирования газодизеля*. Патент РФ № 2119078, МКИ⁶ F 02 D 19/06, F 02 M 21/02, F 02 B 69/04. 5С., 2 ил., 1 табл.
- Ляхов, А.Н., Комля, Г.У. (2013). *Физические характеристики дизельного топлива и их влияние на работу двигателя*. Беларусский государственный аграрный технический университет. Материалы Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве». Минск 11-12 апреля 2013г. Часть 2, ISBN 978-985-519-575-8 (ч. 2), 104-108.
- Pasyniuk, P. 2014. *Wpływ zasilania silników olejem roślinnym na parametry eksploatacyjne ciągników rolniczych*. Inżynieria w Rolnictwie. Monografie 12 ISBN 978-83-62416-56-1.

- Плотников, С.А. (2011). *Улучшение эксплуатационных показателей дизелей путем создания новых альтернативных топлив и совершенствования топливоподающей аппаратуры*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. работа выполнена в Филиале Московского государственного индустриального университета в г. Киров. На правах рукописи, 40.
- Воронков, В.Н., Шишов, С.А. (2010). *Технологии и оборудование и опыт использования навигационных и компьютерных систем в растениеводстве*. Научное издание. Москва ФГНУ «Росинформагротех», 80.
- Zajac, G., Piekarski, W. (2003). Analiza doboru mieszanek paliwowych biopaliwa i oleju napędowego w aspekcie emisji spalin. *Eksploatacja i Niezawodność*, 3, 6-11.
- Zajac, G., Piekarski, W., Krzaczek, P. (2008). Ocena zużycia paliwa przez silniki o zapłonie samoczynnym przy zasilaniu wybranymi paliwami. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 323-330.
- Van Gerpen, J. H., Petersen, C. L., Goering, C. O. (2007). Biodiesel, an alternative fuel for compression ignition engines. *ASABE Distinguished Lecture. No. 31*, 1-22.

MODERNIZACJA ELEMENTÓW UKŁADU REGULACYJNEGO WTRYSKU MIESZANKI OLEJU NAPĘDOWEGO I METANOLU W SILNIKU DIESLA

Streszczenie. Zastosowanie mieszanki oleju napędowego i metanolu w silniku Diesla wymaga modernizacji starych lub opracowania nowych systemów regulacyjnych wtrysku paliwa. W tym celu opracowano kilka wariantów rozwiązań konstrukcyjnych systemu wtrysku paliwa. Celem pracy było opracowanie konstrukcji elementów regulacyjnych podawania paliwa w silniku Diesla pracującym na mieszankach oleju napędowego i metanolu oraz oleju napędowego i biogazu, sprawdzenie ich praktycznej przydatności i sformułowanie zaleceń. Omówiono systemy regulacyjne silnika Diesla wielopaliwowego, gazowego oraz dwa typy numerycznych regulatorów wysokociśnieniowych. Sporządzono charakterystyki mocy silnika, momentu obrotowego, jednostkowego i godzinowego zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej z użyciem silnika Diesla D-21A1. Określono wpływ dodatku metanolu do oleju napędowego na moc i inne wskaźniki eksploatacyjne silnika Diesla. Opracowane dwa warianty konstrukcyjne zespołu numerycznego regulatora paliwowego uzyskały pozytywną ocenę. Opisane rozwiązania uzyskały świadectwa autorskie oraz ochronę patentową i zostały wdrożone do produkcji w Zakładzie Aparatury Przepływowej w Nikopolu (Rosja) i są wykorzystywane przez Centralny Naukowo-Badawczy Instytut Paliw Diesla w Sankt Petersburgu przy pracach nad doskonaleniem silników Diesla.

Słowa kluczowe: traktor, diesel, silnik