**ДВУХФАЗНОЕ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ В ТРАКТОРНОМ ДИЗЕЛЕ:
КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ**

*А. П. Уханов, доктор техн. наук, профессор; М. Д. Дубин, аспирант;
М. В. Рыблов, канд. техн. наук, доцент*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»,
Россия, тел. (8412) 628 517, e-mail: ryblov.m.v@pgau.ru

Статья посвящена проблеме улучшения эффективных и экологических показателей автотракторной техники путем двухфазного смесеобразования в дизелях, оснащенных системой питания с непосредственным впрыском топлива в камеру сгорания. При данном способе смесеобразования первая фаза осуществляется путем впрыска определенной дозы (10-20 %) жидкого активатора (бензина, керосина, дизельного топлива и др.) в такте впуска во впускной тракт дизеля с образованием активаторно-воздушной смеси в цилиндре дизеля. Во второй фазе смесеобразования впрыск основной дозы топлива в цилиндр дизеля осуществляется штатной топливной аппаратурой в конце такта сжатия в сжатую активаторно-воздушную смесь с образованием рабочей смеси, подготовленной для активного воспламенения по всему объему камеры сгорания. Для практической реализации первой фазы двухфазного смесеобразования дизель необходимо дополнительно оснастить системой многоточечного впрыска активатора электромагнитными форсунками, управляемыми электронным блоком. Данная система должна обеспечивать высокую точность дозирования активатора, его своевременную подачу в такте впуска и равномерное распределение по цилиндрам дизеля. Выполненные НИОКР включали разработку функциональной модели системы, а также методик по обоснованию длительности и алгоритма управляющих импульсов, подаваемых на электромагнитные форсунки. Система содержит бак для активатора, фильтр, электронасос, модернизированный впускной трубопровод, электромагнитные форсунки, датчики и электронный блок управления, выполненный на базе программируемого микроконтроллера.

Ключевые слова: трактор, дизель, двухфазное смесеобразование, жидкий активатор, система впрыска, электромагнитные форсунки, электронный блок, датчики.

Введение

В структуре энергетических мощностей автотракторной техники агропромышленного комплекса России преобладающую долю составляют дизели, эффективные и экологические показатели которых во многом зависят от способа смесеобразования. Известны два способа смесеобразования: однофазное и двухфазное. Однофазное смесеобразование используется на абсолютном большинстве дизелей, двухфазное – находится в стадии НИОКР и штучного производства.

При однофазном смесеобразовании впрыск топлива осуществляется непосредственно в камеру сгорания дизеля в конце такта сжатия. При двухфазном смесеобразовании первая фаза осуществляется путем впрыска определенной дозы (10-20 %) мелкораспыленного жидкого активатора (бензина, керосина, дизельного топлива и др.) в поток воздушного заряда, движущегося по впускному

тракту дизеля в такте впуска. При этом происходит образование активаторно-воздушной смеси и её поступление в цилиндр дизеля. В такте сжатия активаторно-воздушная смесь сжимается и под действием высокого давления и температуры образует активные очаги воспламенения в камере сгорания. Вторая фаза смесеобразования осуществляется путем впрыска основной дозы топлива в конце такта сжатия, причем в цилиндрическую среду, содержащую очаги воспламенения. При этом образованная рабочая смесь (активаторно-воздушная смесь + топливо) легко и быстро воспламеняется практически по всему объему камеры сгорания. Кроме того, активные очаги воспламенения в камере сгорания способствуют также более полному сгоранию топлива и активатора, повышению индикаторного КПД и, как следствие, улучшению мощностных, топливно-экономических и экологических показателей дизеля [1].

В настоящее время исследования, посвященные двухфазному смесеобразованию, проводятся в образовательных и научных учреждениях США, Китая, Японии, Великобритании, Германии, Румынии и других странах мира. Экспериментальные зарубежные разработки по данной теме носят название «dual fuel diesel engine» («двухтопливный дизель»), а впрыск жидкого активатора в такте впуска называется «fumigation» (фумигация, распыливание) [2]. Большая часть данных работ посвящена использованию спиртовых активаторов (в основном метанола). Исследования проводятся как на дизелях с неразделенной камерой сгорания и непосредственным впрыском топлива, так и на дизелях с разделенной камерой сгорания, а также на дизелях, оснащенных аккумуляторными топливными системами типа Common-Rail, системами нейтрализации и рециркуляции отработавших газов. Приоритетной задачей исследований является улучшение экологических показателей дизелей. Результаты, полученные различными учеными и исследователями на различных моделях дизелей, обладают достаточно высокой сходимостью. При этом отмечается снижение выбросов твердых частиц (сажи) и оксидов азота при работе исследуемых дизелей на малых нагрузках и увеличение содержания оксида углерода и углеводородов при больших нагрузках. Эффективный КПД двигателя с увеличением дозы метанола снижается при малых нагрузках и возрастает при высоких нагрузках [2-5].

Несмотря на известность и эффективность двухфазного смесеобразования, оно не нашло массового применения в дизелях автотракторной техники, поскольку применяемые для этого механические устройства (карбюратор, дозатор, испаритель и др.) не обеспечивали необходимую точность соотношения заданной дозы активатора и основной дозы топлива при работе дизеля на различных нагрузочных и скоростных режимах.

Для практической реализации первой фазы двухфазного способа смесеобразования на первом этапе НИОКР была разработана и исследована система одноточечного впрыска активатора с помощью одной электромагнитной форсунки, установленной в начале впускного трубопровода дизеля и управляемой электронным блоком [6-9]. Подача активатора с помощью данной системы позволяет повысить эффективную мощность и КПД дизеля, снизить дымность отработавших газов, форсировать дизель в режиме перегрузок

и в целом – повысить производительность машинно-тракторного агрегата. Однако, при применении системы одноточечного впрыска наблюдается несогласованность момента впрыска активатора с тактами впуска свежего воздушного заряда, а также неравномерность распределения активаторно-воздушной смеси по цилиндрам дизеля.

Устранить указанные недостатки возможно путем разработки системы многоточечного впрыска жидкого активатора. При этом необходимо выполнить следующие условия:

- количество электромагнитных форсунок должно быть равно числу ветвей впускного трубопровода многоцилиндрового дизеля;
- заданная доза активатора (10 или 20 %) должна быть согласована с основной дозой топлива;
- электромагнитные форсунки должны срабатывать строго в момент, когда в одном из цилиндров дизеля происходит такт впуска [10].

Методы и материалы

Впрыск основной дозы топлива во второй фазе смесеобразования осуществляется штатной топливной системой дизеля. Для осуществления первой фазы смесеобразования дизель необходимо дополнительно оснастить системой многоточечного впрыска жидкого активатора.

Концепция создания такой системы может быть представлена в виде функциональной модели, показанной на рисунке 1.

Основу системы составляет электронный блок управления (ЭБУ), который должен обеспечивать работу исполнительных устройств: включение электронасоса и срабатывание электромагнитных форсунок. Основным выходным параметром ЭБУ является длительность управляющего импульса $T_{впр}$ (продолжительность впрыска активатора электромагнитной форсункой), соответствующая требуемой цикловой подаче активатора (ЦПА) $g_{ца}$ в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов работы дизеля (параметров G_t и n):

$$g_{ца} = f(G_t, n), \quad (1)$$

где G_t – часовой расход топлива, кг/ч; n – частота вращения коленчатого вала дизеля, мин⁻¹.

Блок ЭБУ должен быть изготовлен на основе микроконтроллера, в программное обеспечение которого закладывается формула для расчета длительности $T_{впр}$ и алгоритм работы электромагнитных форсунок, соответствующий порядку работы цилиндров дизеля.

Рис. 1. Функциональная модель системы многоточечного впрыска жидкого активатора для осуществления первой фазы двухфазного смесеобразования: $K_{ДА}$ – коэффициент дозы активатора; $K_{В}$ – коэффициент коррекции дозы активатора; G_T – массовый расход топлива; n – частота вращения коленчатого вала; π – поворот коленчатого вала; $T_{впр}$ – продолжительность впрыска активатора; ЭФ1...ЭФ4 – электромагнитные форсунки

Электронный блок должен обладать простотой настройки системы на требуемую дозу активатора (10 или 20 % от основной дозы топлива) и возможностью коррекции цикловой подачи активатора, учитывающей изменение пропускной способности электромагнитной форсунки при использовании активаторов различного состава. Таким образом, в конструкции ЭБУ должны быть предусмотрены задающие клавиши для ввода коэффициента дозы активатора $K_{ДА}$ и коэффициента коррекции цикловой подачи активатора $K_{В}$.

Для вычисления ЦПА микроконтроллером ЭБУ необходима информация о текущих параметрах, характеризующих нагрузочный и скоростной режим дизеля (G_T и n), а для обеспечения фазированного впрыска активатора в такте впуска и работы форсунок по заданному алгоритму – информация об угле поворота коленчатого вала. Поэтому для работы ЭБУ необходимы соответствующие датчики, информативные сигналы с которых будут передавать информацию об указанных параметрах.

Установив связь между длительностью импульса $T_{впр}$ и цикловой подачей активатора $g_{ца}$ через статическую производи-

тельность электромагнитной форсунки [11], по методике [12, 13], учитывающей конструктивные параметры дизеля и характеристики применяемых датчиков, в программу микроконтроллера ЭБУ закладывают формулу, представляющую собой функцию четырех параметров:

$$T_{впр} = f(K_{В}, K_{ДА}, G_T, n), \text{ мс.} \quad (2)$$

Формула, выведенная в соответствии с данной функцией, обеспечивает высокую точность заданной дозы активатора, согласованной с основной дозой топлива в различных режимах работы дизеля.

В зависимости от числа и расположения цилиндров дизеля, разрабатывается определенный алгоритм работы электромагнитных форсунок, согласованный с порядком работы цилиндров. Графически данный алгоритм представляется в виде диаграммы управляющих импульсов [14], нанесенной на диаграмму рабочих циклов многоцилиндрового дизеля. На основании полученной диаграммы разрабатывается машинный код, который также записывается в программу микроконтроллера ЭБУ. В результате обеспечивается фазированный впрыск активатора в такте впуска каждого цилиндра.

Результаты

Схема предлагаемого технического решения для осуществления первой фазы двухфазного смесеобразования в дизеле (на примере сельскохозяйственного трактора класса 14 кН) представлена на рисунке 2. Трактор, наряду со штатной топливной системой дизеля, дополнительно оснащается баком 2 для активатора, фильтром 3, электронасосом 4, электронным блоком 5, модернизированным впускным трубопроводом 6 с гидроаккумулятором (рампой), электромагнитными форсунками и регулятором давления, датчиком 7 расхода топлива, датчиком 8 фаз и частоты вращения коленчатого вала. Указанные элементы подключаются к штатной топливной системе дизеля и бортовой сети трактора [14, 15].

Датчик 7 расхода топлива передает в блок 5 информацию о нагрузочном режиме дизеля (параметр G_t) и служит для согласования заданной дозы активатора с основной дозой топлива. Датчик 7 устанавливается в линии низкого давления топлива штатной топливной системы дизеля в разрыв топливопровода между фильтром грубой очистки и топливоподкачивающим насосом.

Датчик 8 фаз газораспределения и частоты вращения коленчатого вала передает в блок 5 информацию о скоростном режи-

ме дизеля (параметр n), а также служит для определения тактов впуска в цилиндрах дизеля. Датчик 8, изготовленный с использованием микросхемы Холла, смонтирован в узле привода штатного топливного насоса высокого давления. За счет определения датчиком угла поворота кулачкового вала обеспечивается впрыск активатора строго в такте впуска.

Электронный блок управления (ЭБУ) выполнен в эргономичном корпусе и обладает простотой настройки на определенную дозу жидкого активатора (10 % или 20 %), впрыскиваемого во впускной тракт дизеля в первой фазе смесеобразования. Электронная часть ЭБУ выполнена на базе программируемого микроконтроллера, управляющего включением электронасоса и реализующего алгоритм работы форсунок. На передней панели ЭБУ предусмотрены задающие клавиши 3, 5 (рис. 3) для ввода коэффициента дозы активатора КДА и коэффициента коррекции цикловой подачи активатора K_v , а также контрольные лампы 4 для отображения того или иного введенного коэффициента. Блок оснащен штекерными разъемами для подключения датчиков, электрического насоса и электромагнитных форсунок, а также отладочным разъемом для программирования микроконтроллера и диагностирования системы двухфазного смесеобразования [16].

Рис. 2. Схема оснащения трактора системой многоточечного впрыска жидкого активатора для осуществления первой фазы двухфазного смесеобразования: 1 – источник тока; 2 – бак для активатора; 3 – фильтр; 4 – электронасос; 5 – электронный блок управления; 6 – модернизированный впускной трубопровод с форсунками впрыска активатора; 7 – датчик расхода топлива; 8 – датчик фаз и частоты вращения коленчатого вала

Рис. 3. Электронный блок управления системой многоточечного впрыска жидкого активатора для осуществления первой фазы двухфазного смесеобразования: 1 – тумблер включения ЭБУ в бортовую сеть трактора; 2 – клавиша включения и отключения впрыска активатора; 3 – задающий переключатель дозы активатора; 4 – контрольные лампы; 5 – задающие клавиши коррекции цикловой подачи активатора

Разработанный ЭБУ позволяет заложить в программу микроконтроллера любой алгоритм работы электромагнитных форсунок в зависимости от числа и расположения цилиндров двигателя, а конструкция ЭБУ является универсальной для различных марок и моделей тракторных дизелей.

Заключение

Для практической реализации первой

фазы двухфазного смесеобразования в тракторном дизеле предложена функциональная модель системы многоточечного впрыска жидкого активатора и разработан электронный блок, формирующий управляющие импульсы для впрыска электромагнитными форсунками заданной дозы активатора в такте впуска в соответствии с порядком работы цилиндров дизеля.

Литература

1. Рыблов М. В., Уханов А. П., Уханов Д. А. Способ и средства улучшения эксплуатационных показателей тракторного дизеля. Научное обозрение, 2014, № 3, с. 42-49.
2. Imran A., Varman M., Masjuki H. H., Kalam M. A. Review on alcohol fumigation on diesel engine: A viable alternative dual fuel technology for satisfactory engine performance and reduction of environment concerning emission. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, vol. 26, p. 739-751.
3. Yao Chunde, Pan Wang, Yao Anren. Methanol fumigation in compression-ignition engines: A critical review of recent academic and technological developments. Fuel, 2017, pp. 1-20. DOI:10.1016/j.fuel.2017.08.038.
4. Liu J, Yao A, Yao C. Effects of diesel injection pressure on the performance and emissions of a HD common-rail diesel engine fueled with diesel/methanol dual fuel. Fuel, 2015, p. 192-200.
5. Tutak W, Lukács K, Szwaja S, Bereczky Á. Alcohol-diesel fuel combustion in the compression ignition engine. Fuel, 2015, p. 196-206.
6. Уханов, А. П., Рыблов М. В., Уханов Д. А. Обогащение воздушного заряда тракторных дизелей углеводородными активаторами: монография. Пенза: РИО ПГСХА, 2015, 199 с.
7. Рыблов М. В., Уханов Д. А., Симаков С. А. Расчет крутящего момента дизеля при работе с обогащением воздушного заряда. Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов международной научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГСХА, 2015, т. II, с. 61-65.
8. Уханов А. П., Уханов Д. А., Рыблов М. В. [и др.] Использование рапсового биотоплива на автотракторной технике. Организация и развитие информационного обеспечения органов управления, научных и образовательных учреждений АПК: материалы научно-практической конференции. Москва, 2007, ч.1, с. 163-173.

9. Патент 2392481 РФ, МПК F02M25/00. Обоганитель воздушного заряда дизеля. А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Матвеев, М. В. Рыблов; Пенз. гос. с-х. академия. № 2008151468/06; Заявл. 24.12.2008; Оpubл. 20.06.2010, Бюл. № 17.

10. Патент 2330173 РФ МПК F02M 25/00; F02D 19/00. Устройство для обогащения воздушного заряда. А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Рачкин, М. В. Рыблов; Заявл. 31.07.2006; № 2006127884/06; Оpubл. 27.07.2008; Бюл. № 21.

11. Рыблов М. В., Хвалов С. С., Симаков С. А. Определение статической производительности электромагнитной форсунки для подачи углеводородных активаторов во впускной трубопровод дизеля. Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей международной научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГСХА, 2016, т. II, с. 96-99.

12. Рыблов М. В., Уханов А. П., Уханов Д. А. Теоретическое обоснование работы системы двухточечного обогащения воздушного заряда дизеля. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, 2017, № 2 (38). с. 185-191.

13. Рыблов, М. В., Уханов Д. А., Черняков А. А. Методика расчета параметров управляющих импульсов электромагнитных форсунок при распределенном обогащении воздушного заряда дизеля. Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей международной научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГАУ, 2017, с. 116-119.

14. Рыблов М. В., Уханов Д. А., Уханов А. П. Разработка автоматической системы распределенного обогащения воздушного заряда тракторного дизеля. Вестник Мордовского университета, 2018, т. 28, № 4, с. 523-536.

15. Рыблов, М. В., Уханов А. П., Уханов Д. А. Распределенное обогащение воздушного заряда дизелей автотракторной техники жидкими активаторами. Нива Поволжья, 2019, № 1 (50), с. 123-132.

16. Рыблов, М. В., Матвеев В. А., Новичков А. В. Электронный блок управления системы распределенного обогащения воздушного заряда дизеля. Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: материалы международной научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГАУ, 2017, с. 160-162.

UDC 621.436.24

DOI 10.36461/NP.2020.2.55.018

TWO-PHASE MIXING IN A TRACTOR DIESEL: THE CONCEPT OF TECHNICAL SOLUTION

*A. P. Ukhanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; M. D. Dubin, post-graduate;
M. V. Ryblov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant-professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Penza State Agrarian University»,
Russia, tel. (8412) 628 517, e-mail: ryblov.m.v@pgau.ru

The article is devoted to the problem of improving the effective and environmental indicators of automotive equipment by two-phase mixing in diesels equipped with a power system with direct fuel injection into the combustion chamber. In this method of mixing, the first phase is carried out by injecting a certain dose (10-20 %) of a liquid activator (gasoline, kerosene, diesel fuel, etc.) in the instroke into the diesel intake tract to form an activator-air mixture in the diesel cylinder. In the second phase of mixing, the injection of the main fuel dose into the diesel cylinder is carried out by normal fuel equipment at the end of the instroke into a compressed activator-air mixture with the formation of a working mixture prepared for active ignition throughout the entire volume of the combustion chamber. For the practical implementation of the first phase of two-phase mixing, the diesel engine must be additionally equipped with a multi-point activator injection system with electromagnetic nozzles controlled by an electronic unit. This system should ensure high accuracy of activator dosing, its timely delivery in the instroke and equable distribution across the diesel cylinders. The performed research and development works included the development of a functional model of the system, as well as methods to justify the duration and algorithm of control pulses applied to electromagnetic nozzles. The system contains an activator tank, filter, electric pump, upgraded intake pipeline, electromagnetic nozzles, sensors and an electronic control unit based on a programmable microcontroller.

Keywords: tractor, diesel, two-phase mixing, liquid activator, injection system, electromagnetic nozzles, electronic unit, sensors.

References:

1. Ryblov M. V., Ukhanov A. P., Ukhanov D. A. Method and means of improving the performance indicators of tractor diesel. [Sposob i sredstva uluchsheniya ekspluatatsionnyh pokazatelej traktornogo dizelya] Nauchnoe obozrenie, 2014, no. 3, pp. 42-49.

2. Imran A., Varman M., Masjuki H. H., Kalam M. A. Review on alcohol fumigation on diesel engine: A viable alternative dual fuel technology for satisfactory engine performance and reduction of environment concerning emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 26, p. 739-751.
3. Yao Chunde, Pan Wang, Yao Anren. Methanol fumigation in compression-ignition engines: A critical review of recent academic and technological developments. *Fuel*, 2017, pp. 1-20. DOI:10.1016/j.fuel.2017.08.038.
4. Liu J, Yao A, Yao C. Effects of diesel injection pressure on the performance and emissions of a HD common-rail diesel engine fueled with diesel/methanol dual fuel. *Fuel*, 2015, p. 192-200.
5. Tutak W, Lukács K, Szwaja S, Bereczky Á. Alcohol-diesel fuel combustion in the compression ignition engine. *Fuel*, 2015, p. 196-206.
6. Ukhonov, A. P., Ryblov M. V., Ukhonov D. A. Enrichment of the air charge of tractor diesels with hydrocarbon activators: monograph. Penza: RIO PGSKHA, 2015, 199 p.
7. Ryblov M. V., Ukhonov D. A., Simakov S. A. Calculation of torque of the diesel engine when operating with the enrichment of the air charge. *Education, science, practice: innovative aspect: The sourcebook of the International research and practical conference Penza: RIO PGSKHA, 2015, Vol II, pp. 61-65.*
8. Ukhonov A. P., Ukhonov D. A., Ryblov M. V. [et al.] Use of rapeseed biofuels on a mechanized equipment. *Organization and development of information support for management bodies, scientific and educational institutions of the agro-industrial complex: materials of the scientific and practical conference. Moscow, 2007, part 1, p. 163-173.*
9. Patent 2392481 of the Russian Federation, IPC F02M25/00. The enricher of air charge of a diesel engine. A. P. Ukhonov, D. A. Ukhonov, V. A. Matveev, M. V. Ryblov; Penza State Agricultural Academy. No. 2008151468/06; Application. 24.12.2008; Publ. 20.06.2010, Bul. No. 17.
10. Patent 2330173 of the Russian Federation, IPC F02M 25/00; F02D 19/00. Device for enriching the air charge. A. P. Ukhonov, D. A. Ukhonov, V. A. Rachkin, M. V. Ryblov; Declared 31.07.2006; No. 2006127884/06; Published. 27.07.2008; Bul. No. 21.
11. Ryblov M. V., Khvalov S. S., Simakov S. A. Determination of static performance of an electromagnetic nozzle for supplying hydrocarbon activators to the diesel intake pipeline. *Contribution of young scientists to the innovative development of the agro-industrial complex of Russia: collection of articles of the international scientific and practical conference. Penza: RIO PGSKHA, 2016, Vol. II, pp.96-99.*
12. Ryblov M. V., Ukhonov A. P., Ukhonov D. A. Theoretical operation justification of the system of two-point enrichment of the diesel air charge. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 2017, no. 2 (38). pp. 185-191.
13. Ryblov, M. V., Ukhonov D. A., Chernyakov A. A. The method of calculation of parameters of control pulses of electromagnetic nozzles in a distributed enrichment of the air charge of the diesel engine. *Operation of automotive and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects: collection of articles of the international scientific and practical conference. Penza: RIO PGAU, 2017, pp. 116-119.*
14. Ryblov M. V., Ukhonov D. A., Ukhonov A. P. Developing the Automatic System for the Multi-Point Fumigation of Air Charge in the Diesel Engine. *the Mordovia University Bulletin journal*, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 523-536.
15. Ryblov M. V., Ukhonov A. P., Ukhonov D. A. Distributed enrichment of air charge of automotive engineering diesels with liquid activators. *Volga Region Farmland*, 2019, no. 1 (50), pp. 123-132.
16. Ryblov, M. V., Matveev V. A., Novichkov A. V. The electronic control unit of the distributed enrichment of the air charge of the diesel engine. *Agro-industrial complex: state, problems, prospects: materials of the international scientific and practical conference. Penza: RIO PGAU, 2017, pp. 160-162.*