

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДВУХТОЧЕЧНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА ДИЗЕЛЯ

Рыблов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Уханов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор

Уханов Денис Александрович, доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, тел. 8(8412)628517

e-mail: mr3273pgsha@mail.ru

Ключевые слова: дизель, обогащение, воздушный заряд, активатор, электромагнитная форсунка, алгоритм.

Эффективным способом интенсификации рабочего процесса дизелей автотракторной техники является обогащение воздушного заряда подачи во впускной трубопровод двигателя определенной дозы (10...20 %) углеводородного активатора (спирта, бензина, керосина, минерального дизельного топлива или смесового растительно-минерального топлива) с образованием активаторно-воздушной смеси, поступающей в цилиндры дизеля в такте впуска. Одноточечное обогащение воздушного заряда с помощью электромагнитной форсунки, установленной во впускном трубопроводе, позволяет улучшить мощностные, топливно-экономические и экологические показатели дизеля. Однако при этом возникает неравномерность распределения активаторно-воздушной смеси по цилиндрам. Целью исследований является улучшение равномерности распределения активаторно-воздушной смеси по цилиндрам путем двухточечного обогащения воздушного заряда дизеля с помощью электромагнитных форсунок, установленных в ветвях впускного трубопровода. Разработан алгоритм работы электромагнитных форсунок, согласованный с порядком работы цилиндров дизеля Д-243-648. Выполнено расчетно-теоретическое обоснование цикловых подач активатора и соответствующих им параметров управляющих импульсов, подаваемых на электромагнитные форсунки на различных нагрузочно-скоростных режимах дизеля. Получена формула для программирования электронного блока, управляющего работой электромагнитных форсунок. В результате расчетов установлено, что в зависимости от дозы активатора и режима работы дизеля, цикловая подача активатора может составлять от 1 мг/цикл до 13 мг/цикл, при этом длительность управляющих импульсов, формируемых электронным блоком, варьируется от 0,27 мс до 3,5 мс.

Введение

На современном этапе энергетическую основу автотракторной техники составляет дизель, который является основным потребителем энергоресурсов в сельском хозяйстве. Повысить энергетическую эффективность и экологическую безопасность дизеля возможно воздействием на его рабочий процесс, например, путем обогащения воздушного заряда [1, 2, 3, 4]. Данный способ заключается в подаче во впускной трубопровод дизеля определенной дозы (10...20 %) углеводородного активатора (спирта, бензина, керосина, минерального дизельного топлива или смесового растительно-минерального топлива). При этом происходит образование активаторно-воздушной смеси, которая в такте впуска поступает в цилиндр дизеля, а в такте сжатия сжимается, образуя активные очаги для воспламенения основной дозы топлива, впрыскиваемой в камеру сгорания дизеля штатной топливной системой.

Известна система одноточечного обогащения воздушного заряда [5, 6, 7], в которой электрический насос подает активатор к

электромагнитной форсунке, размещенной во впускном трубопроводе дизеля. Работой электромагнитной форсунки управляет электронный блок. Одноточечная подача активатора позволяет повысить эффективную мощность дизеля на 3...10 %, уменьшить удельный эффективный расход топлива на 3...11 %, снизить дымность отработавших газов в 1,1...2 раза в зависимости от вида и дозы активатора по сравнению с работой дизеля в штатной комплектации без обогащения воздушного заряда [1, 4]. Недостатком системы одноточечного обогащения воздушного заряда является недостаточная равномерность распределения активаторно-воздушной смеси по цилиндрам дизеля в такте впуска.

Решением данной проблемы может являться распределенное обогащение воздушного заряда [8, 9], при котором количество электромагнитных форсунок увеличено до числа цилиндров дизеля. Форсунки устанавливают во впускном тракте дизеля в непосредственной близости от впускных клапанов газораспределения. Однако многие модели дизелей не имеют отдельных ветвей впускного тракта для каждого

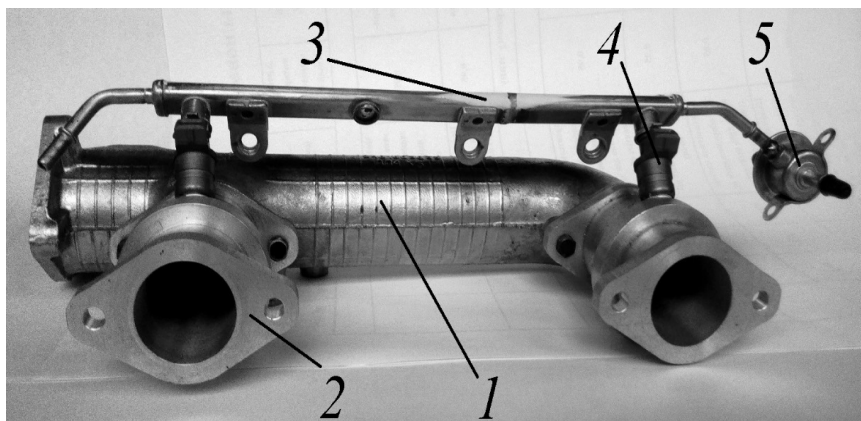


Рис. 1 – Впускной трубопровод системы двухточечного обогащения воздушного заряда дизеля: 1 – штатный впускной трубопровод; 2 – вставка-удлинитель коллектора; 3 – рампа; 4 – электромагнитная форсунка; 5 – регулятор давления

цилиндра, поэтому установка форсунок требует сложного и трудоемкого вмешательства в конструкцию головки блока цилиндров. Так, наиболее распространенным трактором в сельском хозяйстве является трактор типа МТЗ с дизелем Д-243 (4Ч11/12,5) Минского моторного завода, у которого на четыре цилиндра приходится два канала для впуска воздуха, выполненные в головке блока цилиндров. В свою очередь, эти каналы сообщаются с двумя ветвями впускного трубопровода (коллектора), через которые воздух в такте впуска поступает в соответствующие пары соседних цилиндров [10, 11].

Поэтому для реализации распределенной подачи активатора на данной модели дизеля эффективным техническим решением является двухточечная схема обогащения воздушного заряда.

Объекты и методы исследований

За объект исследований принят процесс работы электромагнитных форсунок системы двухточечного обогащения воздушного заряда дизеля. Предметом исследований являются алгоритм работы и параметры управляющих импульсов электромагнитных форсунок.

Двухточечная подача активатора осуществляется двумя электромагнитными форсунками: первая форсунка обогащает воздушный заряд, поступающий в 1-й и 2-й цилиндры, вторая форсунка – заряд, поступающий в 3-й и 4-й цилиндры. Электромагнитные форсунки 4 (рис. 1) размещаются во вставках-удлинителях 2 штатного впускного трубопровода 1 дизеля. Верхними фланцами вставки 2 соединяются с ветвями штатного трубопровода 1, а нижними фланцами – с входными отверстиями впускных каналов

головки блока цилиндров дизеля. Входные каналы форсунок 4 закреплены в выходных патрубках рампы 3, которая служит магистралью для подачи активатора к форсункам. На тупиковом конце рампы закреплен регулятор давления 5, предназначенный для стабилизации давления активатора в рампе и перепуска избыточного активатора обратно в бак системы обогащения воздушного заряда [10, 11, 12].

Порядок работы электромагнитных форсунок должен быть согласован с порядком работы цилиндров дизеля, а количество подаваемого

активатора на различных нагрузочно-скоростных режимах дизеля должно соответствовать определенной заданной дозе (10 % или 20 % от массового расхода топлива). Поэтому важной задачей является разработка алгоритма работы электромагнитных форсунок и обоснование параметров управляющих импульсов, подаваемых на форсунки, для обеспечения подачи заданной дозы активатора в такте впуска дизеля.

Порядок работы цилиндров дизеля Д-243 (4Ч11/12,5) – 1, 3, 4, 2. В четырехтактном дизеле за два оборота коленчатого вала (к.в.) такт впуска происходит один раз в каждом из цилиндров. Поэтому каждая из двух электромагнитных форсунок, работая на два цилиндра, осуществляет впрыск активатора один раз за каждый оборот к.в. Тогда порядок работы электромагнитных форсунок при двухточечном обогащении воздушного заряда будет 1-2-2-1.

Так как электромагнитные форсунки впрыскивают активатор по командным сигналам, формируемым в электронном блоке управления, за начальный сигнал принят момент начала такта впуска во втором цилиндре. Тогда порядок работы цилиндров примет вид 2-1-3-4, а порядок работы электромагнитных форсунок – 1-1-2-2. Таким образом, форсунки впрыскивают активатор попарно и последовательно в ветви впускного трубопровода [11].

На рисунке 2 представлена диаграмма управляющих импульсов, отображающая алгоритм работы электромагнитных форсунок при двухточечном обогащении воздушного заряда. Из диаграммы следует, что у каждой из форсунок чередуются угловые интервалы между

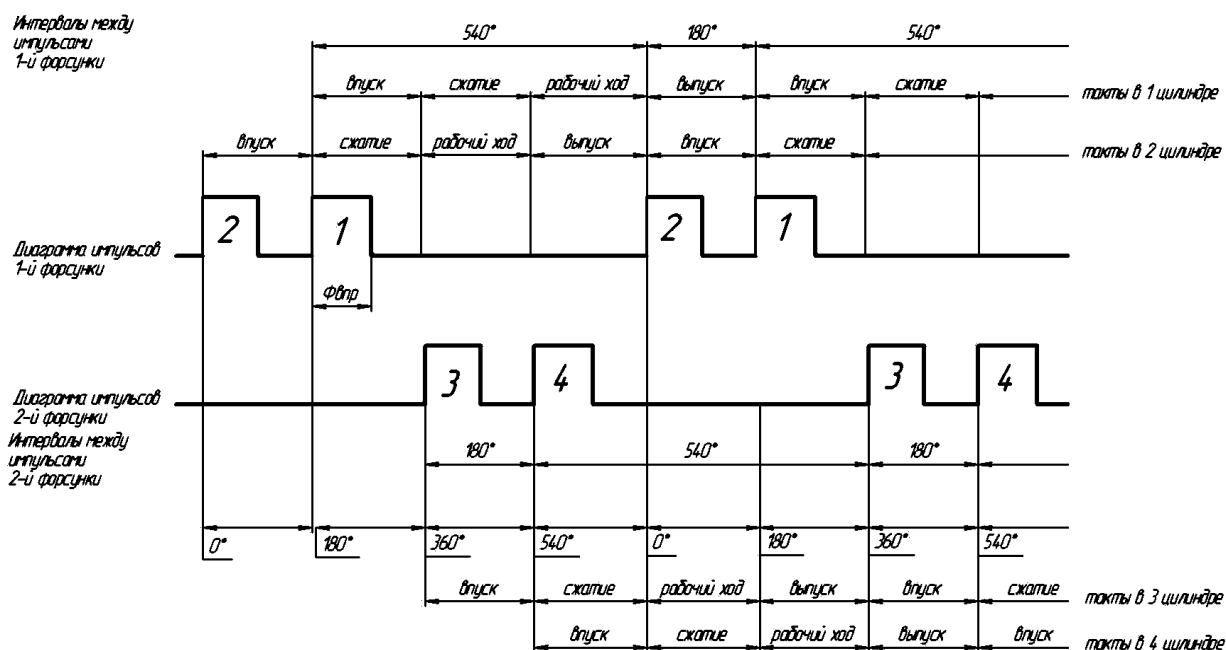


Рис. 2 – Диаграмма управляющих импульсов, подаваемых на электромагнитные форсунки при двухточечном обогащении воздушного заряда (1, 2, 3, 4 – номера цилиндров, в которых происходит такт впуска)

моментами начала впрыска активатора, равные 180° и 540° угла поворота коленчатого вала (п.к.в.).

Например, при подаче управляющего импульса первая форсунка совершает в начале такта впуска впрыск определенной дозы активатора во второй цилиндр дизеля за время $t_{впр}$ и угол $\phi_{впр}$. Затем следует пауза между импульсами, соответствующая углу поворота к.в., равному $180^\circ - \phi_{впр}$ (так называемая «короткая» пауза), после чего форсунка впрыскивает активатор в первый цилиндр с той же длительностью $t_{впр}$ за угол $\phi_{впр}$. Затем следует пауза между импульсами, соответствующая углу п.к.в., равному $540^\circ - \phi_{впр}$ (так называемая «длинная» пауза) до момента, пока во втором цилиндре снова не начнется такт впуска.

За время «длинной» паузы в обмотке первой электромагнитной форсунки вторая форсунка в аналогичном порядке и с той же длительностью управляющих импульсов впрыскивает активатор в третий, а затем - в четвертый цилиндры. После этого в обмотке второй форсунки также наступает «длинная» пауза, во время которой снова включается в работу первая форсунка, и цикл повторяется. Таким образом, у каждой из электромагнитных форсунок чередуются «длинная» и «короткая» паузы между

управляющими импульсами.

Для определения продолжительности впрыскивания активатора электромагнитной форсункой необходимо обосновать цикловую подачу активатора при дозах 10 % и 20 % от массового расхода дизельного топлива, подаваемого штатной топливной системой. Граничным условием будет являться продолжительность такта впуска, которая при номинальной частоте вращения к.в. $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ составляет 14 мс (без учета углов опережения открытия и запаздывания закрытия впускного клапана механизма газораспределения). Это максимально возможная продолжительность управляющего импульса, подаваемого в обмотку электромагнитной форсунки, ограниченная продолжительностью такта впуска.

Результаты исследований

Для обоснования цикловых подач активатора, соответствующих заданной 10%-ной или 20%-ной дозе, необходимы данные часового расхода моторного топлива G_t во всем диапазоне нагрузочно-скоростных режимов дизеля. Эти данные определяли экспериментально путем снятия регуляторной характеристики дизеля Д-243-648 в штатной комплектации (без обогащения воздушного заряда) при номинальной нагрузке и при частичных нагрузках, а также

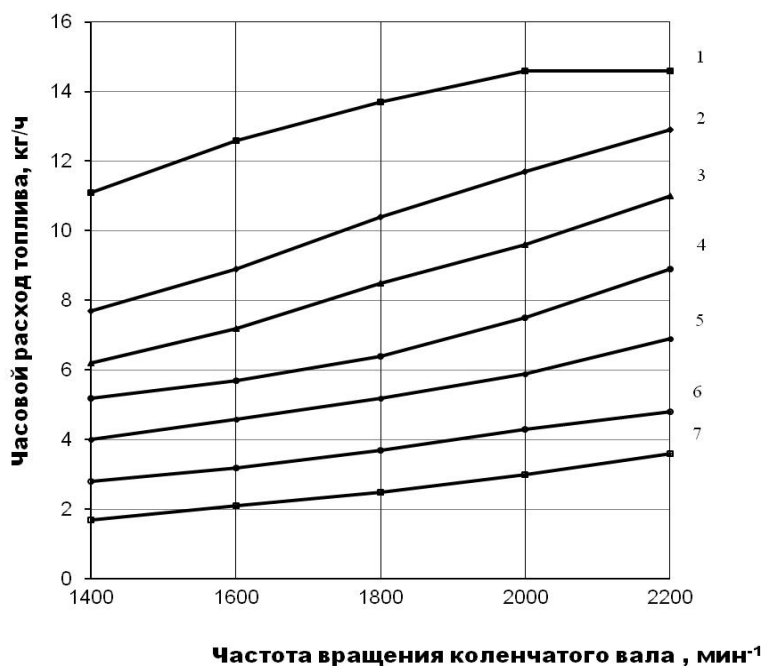


Рис. 3 – Номограмма часового расхода топлива дизеля Д-243-648 в штатной комплектации в зависимости от частоты вращения коленчатого вала: 1 – при номинальной нагрузке; 2 – при нагрузке 90 %; 3 – при нагрузке 80 %; 4 – при нагрузке 60 %; 5 – при нагрузке 40 %; 6 – при нагрузке 20 %; 7 – при работе дизеля на холостом ходу

нагрузочной характеристики и характеристики холостого хода. По полученным данным построена номограмма часового расхода топлива от частоты вращения к.в. и нагрузки на двигатель (рис. 3).

При этом часовая подача активатора, кг/ч,
 $G_{TA} = K_{ДА} \cdot G_T$, (1)

где $K_{ДА}$ – коэффициент дозы активатора (при дозе 10 % $K_{ДА} = 0,1$; при дозе 20 % $K_{ДА} = 0,2$).

Цикловая подача активатора, г/цикл, [13]

$$g_{цА} = \frac{1000 \cdot G_{ТА}}{30 \cdot n \cdot z} = \frac{1000 \cdot K_{ДА} \cdot G_T}{30 \cdot n \cdot z}, \quad (2)$$

где n – частота вращения к.в., мин⁻¹; z – число цилиндров дизеля.

Время впрыскивания активатора (длительность управляющего импульса, подаваемого в обмотку электромагнитной форсунки, мс)

$$\tau_{впр} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot g_{цА}}{C_{п}}, \quad (3)$$

где $C_{п}$ – статическая производительность электромагнитной форсунки, г/мин, определен-

ная экспериментальным путем [14].

Подставив в выражение (3) формулу (2), получим:

$$\tau_{впр} = \frac{60 \cdot 10^3}{C_{п}} \cdot \frac{1000 \cdot K_{ДА} \cdot G_T}{30 \cdot n \cdot z} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot K_{ДА} \cdot G_T}{C_{п} \cdot n \cdot z}. \quad (4)$$

Поскольку при подаче различных видов активаторов статическая производительность электромагнитной форсунки будет отличаться ввиду различия их физико-химических свойств [15], то для коррекции продолжительности управляющих импульсов необходимо ввести коэффициент вида активатора:

$$K_B = \frac{C_{п1}}{C_{п2}}, \quad (5)$$

где $C_{п1}$ – статическая производительность электромагнитной форсунки при подаче «эталонного» активатора, для которого коэффициент $K_B = 1$ (в качестве «эталонного» активатора нами принят бензин АИ-92); $C_{п2}$ – статическая производительность электромагнитной форсунки при подаче активатора, отличающегося от «эталонного» активатора.

Если производительность форсунки при подаче в качестве активатора, например, спирта или минерального дизельного топлива, отличается от производительности форсунки при подаче бензина АИ-92 в большую сторону, то для коррекции параметров управляющих импульсов необходимо ввести понижающий коэффициент ($K_B < 1$). Если производительность форсунки при подаче смесового растительно-минерального активатора отличается от производительности форсунки при подаче бензина в меньшую сторону – повышающий коэффициент ($K_B > 1$).

Принимаем следующие коэффициенты коррекции, учитывающие вид активатора: $K_B = 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3$. Данные коэффициенты задаются кнопками на панели управления электронного блока системы двухточечного обогащения воздушного заряда дизеля.

Тогда формула для определения длительности управляющего импульса, мс, учитывающая вид активатора, примет следующий вид:

$$\tau_{впр} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot K_B \cdot K_{ДА} \cdot G_T}{C_{п} \cdot n \cdot z}. \quad (6)$$

Формула (6) в общем виде не может быть заложена в программу электронного блока управления, поэтому ее необходимо преобразовать.

Для измерения и регистрации массового (часового) расхода минерального дизельного топлива G_T служит измеритель расхода Aquametro VZO-4 Re-0,00125, частота импульсных сигналов которого $N_{имп} = 800$ импульсов/л.

Тогда частота f , c^{-1} , импульсов, будет связана с часовым расходом дизельного топлива следующим соотношением:

$$f = \frac{G_T \cdot N_{имп}}{3600 \rho_{дт}}, \quad (7)$$

где $\rho_{дт}$ – плотность дизельного топлива, $г/см^3$.

Выразим отсюда расход G_T , $кг/ч$,

$$G_T = \frac{3600 \rho_{дт} \cdot f}{N_{имп}}. \quad (8)$$

Подставив выражение (8) в (6), получим:

$$\tau_{впр} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot K_B \cdot K_{ДА} \cdot 3600 \rho_{дт} \cdot f}{C_{ц} \cdot n \cdot z \cdot N_{имп}} = \frac{7,2 \cdot 10^9 \cdot K_B \cdot K_{ДА} \cdot \rho_{дт} \cdot f}{C_{ц} \cdot n \cdot z \cdot N_{имп}}. \quad (9)$$

Подставим в формулу (9) известные значения, которые будут являться константами для дизеля Д-243-648, минерального дизельного топлива и измерителя расхода топлива Aquametro: $z = 4$; $\rho_{дт} = 0,82$ $г/см^3$; $N_{имп} = 800$ импульсов/л; $C_{п} = 200$ $г/мин$.

Сгруппировав и перемножив все константы, получим формулу для программирования электронного блока:

$$\tau_{впр} = \frac{7,2 \cdot 10^9 \cdot 0,82 \cdot K_B \cdot K_{ДА} \cdot f}{200 \cdot 4 \cdot 800 \cdot n} = 9225 \cdot \frac{K_B \cdot K_{ДА} \cdot f}{n}. \quad (10)$$

Результаты расчетов по формулам (2) и (10) показывают, что величина цикловой подачи активатора может варьироваться от 1 $мг/цикл$ (при 10 %-ной дозе активатора и работе дизеля на режиме холостого хода) до 13 $мг/цикл$ (при 20 %-ной дозе активатора и работе дизеля на номинальном режиме). При этом длительность управляющего импульса, подаваемого в обмотку электромагнитной форсунки, составляет от 0,27 $мс$ до 3,5 $мс$.

Выводы

Таким образом, для управления электромагнитными форсунками продолжительность управляющего импульса $t_{впр}$ будет определяться как функция четырех параметров: коэффици-

ента вида активатора K_B , коэффициента дозы активатора $K_{ДА}$, частоты импульсов f и частоты вращения n .

Разработанный алгоритм работы электромагнитных форсунок и полученная формула для расчета длительности управляющего импульса будут заложены в программу электронного блока управления системы двухточечного обогащения воздушного заряда, обеспечивающую более равномерное распределение активаторно-воздушной смеси по цилиндрам дизеля.

Библиографический список

1. Рыблов, М.В. Способ и средства улучшения эксплуатационных показателей тракторного дизеля / М.В. Рыблов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов // Научное обозрение. – 2014. – № 3. – С. 42 – 49.
2. Уханов, А.П. Теоретические основы работы трактора на режиме перегрузок с обогащением воздушного заряда дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, М.В. Рыблов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 3. – С. 17 – 19.
3. Рыблов, М.В. Повышение производительности пахотного агрегата обогащением воздушного заряда тракторного дизеля на режиме перегрузок / М.В. Рыблов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов // Нива Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 93 – 99.
4. Уханов, А.П. Обогащение воздушного заряда тракторных дизелей углеводородными активаторами: монография / А.П. Уханов, М.В. Рыблов, Д.А. Уханов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 199 с.
5. Рыблов, М.В. Системы автоматического обогащения воздушного заряда дизеля активаторами: теория и технические решения / М.В. Рыблов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 10. – С. 29 – 32.
6. Патент 2392481 РФ, МПК F 02 M 25/00. Обогачитель воздушного заряда дизеля / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Рачкин и др.; Пенз. гос. с-х. академия. – № 2008151468/06; Заяв. 24.12.2008; Опубл. 20.06.2010, Бюл. № 17.
7. Патент на полезную модель 72018 РФ, МПК F 02 D 19/12, F 02 M 43/00. Система подачи углеводородного активатора в дизель / А.П. Уханов, М.В. Рыблов, В.А. Рачкин, В.А. Матвеев; Пенз. гос. с-х. академия; – № 2007148478/22; Заяв. 24.12.2007; Опубл. 27.03.2008; Бюл. № 9.
8. 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; Пенз. гос. с-х. академия. – № 2006127884/06; Заявл. 31.07.2006; Опубл. 27.07.2008; Бюл. № 21.
9. Патент 2383757 РФ, МПК F 02 D 39/08, F

02 В 3/10, F 02 М 45/00. Система для преодоления кратковременных перегрузок дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, В.А. Матвеев и др.; Пенз. гос. с-х. академия. – № 2008137023/06; Заяв. 15.09.2008; Опубл. 10.03.2010, Бюл. № 7.

10. Рыблов, М.В. Модернизация впускного трубопровода дизеля 4С11/12,5 для работы с одноточечным и двухточечным обогащением воздушного заряда / М.В. Рыблов, С.А. Симаков, Т.В. Глухова // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Том III. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – С. 15–18.

11. Рыблов, М.В. Двухточечное обогащение воздушного заряда дизеля: техническое решение и алгоритм работы электромагнитных форсунок / М.В. Рыблов, М.Д. Дубин, Н.А. Абрамов, С.А. Симаков // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Том III. – Пенза: РИО ПГАУ, 2017. – С. 6–8.

12. Патент на полезную модель 157301 РФ МПК F02D 19/12, F02M 43/00. Система впрыска активатора во впускной трубопровод дизеля /

М.В. Рыблов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов, С.А. Симаков; Пенз. гос. с-х. академия. – № 2015102646; Заяв. 27.01.2015; Опубл. 27.11.2015; Бюл. № 33.

13. Рыблов, М.В. Расчет крутящего момента дизеля при работе с обогащением воздушного заряда / М.В. Рыблов, Д.А. Уханов, С.А. Симаков // Образование, наука, практика: инновационный аспект: Сб. материалов Междунар. НПК, посвященной Дню российской науки. Том II. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 61 – 65.

14. Рыблов, М.В. Определение статической производительности электромагнитной форсунки для подачи углеводородных активаторов во впускной трубопровод дизеля / М.В. Рыблов, С.С. Хвалов, С.А. Симаков // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 65-летию ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА. Том II. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – С. 96–99.

15. Рыблов, М.В. Физико-химические и теплотворные свойства активаторов, используемых для обогащения воздушного заряда дизеля // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник материалов Всероссийской НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С. 194 – 196.

THEORETICAL OPERATION JUSTIFICATION OF THE SYSTEM OF TWO-POINT ENRICHMENT OF THE DIESEL AIR CHARGE

Rybllov M.V., Ukhonov A.P., Ukhonov D.A.
FSBEI HE Penza State Agrarian University
440014, Penza, Botanicheskaya st., 30,
Tel.: 8 (8412) 628517 E-mail: mr3273pgsha@mail.ru

Key words: diesel, enrichment, air charge, activator, electromagnetic nozzle, sequence.

An effective way to intensify the working process of diesel engines of automotive engineering is to enrich the air charge by supplying a certain dose (10 ... 20%) of the hydrocarbon activator (alcohol, gasoline, kerosene, mineral diesel fuel or mixed oil-mineral fuel) to the intake pipeline of the engine to form an activator-air mixture, which enters the cylinders of the diesel engine at the intake period. One-point enrichment of air charge with the help of an electromagnetic nozzle installed in the intake pipeline, allows to improve the power, fuel-economic and ecological parameters of the diesel. However, this creates an uneven distribution of the activator-air mixture in the cylinders. The aim of the research is to improve the uniformity of the distribution of the activator-air mixture in the cylinders by means of a two-point enrichment of the air charge of the diesel engine using electromagnetic nozzles installed in the branches of the intake pipeline. A sequence of operation of electromagnetic nozzles, consistent with the order of operation of the D-243-648 diesel cylinder, has been developed. The calculation and theoretical justification of the activator cyclic feedings and the corresponding parameters of the control pulses applied to the electromagnetic nozzles at various force-speed regimes of the diesel engine have been performed. A formula is obtained for programming an electronic unit, which controls the operation of electromagnetic nozzles. As a result of calculations it was found that depending on the activator dose and the diesel operating mode, the activator cyclic delivery can be from 1 mg / cycle to 13 mg / cycle, herewith, the duration of the control pulses generated by the electronic unit varies from 0,27 ms to 3,5 ms.

Bibliography

1. Rybllov, M.V. A method and means for improving the performance of a tractor diesel engine / M.V. Rybllov, A.P. Ukhonov, D.A. Ukhonov // Scientific Review. - 2014. - № 3. - P. 42 - 49.
2. Ukhonov, A.P. Theoretical basis of tractor work on overload operation with air charge enrichment of the diesel engine / A.P. Ukhonov, D.A. Ukhonov, M.V. Rybllov // Tractors and agricultural machinery. - 2013. - № 3. - P. 17 - 19.
3. Rybllov, M.V. Productivity increase of plowing unit by air charge enrichment of a tractor diesel engine in case of the overload operation / M.V. Rybllov, A.P. Ukhonov, D.A. Ukhonov // Crop field of the Volga region. - 2013. - № 2. - P. 93 - 99.
4. Ukhonov, A.P. Air charge enrichment of the tractor diesel engines with hydrocarbon activators: monograph / A.P. Ukhonov, M.V. Rybllov, D.A. Ukhonov. - Penza: Publishing house of PSAA, 2015. - 199 p.
5. Rybllov, M.V. Systems of automatic air charge enrichment of a diesel engine by activators: theory and technical solutions / M.V. Rybllov, A.P. Ukhonov, D.A. Ukhonov // Tractors and agricultural machinery. - 2013. - № 10. - P. 29 - 32.
6. Patent 2392481 of the Russian Federation, IPC F 02 M 25/00. The air charge enrichment unit of a diesel engine / A.P. Ukhonov, D.A. Ukhonov, V.A. Rachkin et al; Penza state agricultural academy. - №. 2008151468/06; appl. 24.12.2008; publ. 06.20.2010, Bul. No. 17.
7. Patent for utility model 72018 RF, IPC F 02 D 19/12, F 02 M 43/00. A system for supplying a hydrocarbon activator into a diesel engine / A.P. Ukhonov,

- M.V. Ryblov, V.A. Rachkin, V.A. Matveev; Penza state agricultural academy. - №. 2007148478/22; appl. 24.12.2007; publ. 27.03.2008; Bul. № 9.
8. Patent 2330173 of the Russian Federation, IPC F02M 25/00; F02D 19/00. Device for enriching air charge / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, V.A. Rachkin, M.V. Ryblov; Penza state agricultural academy. - №. 2006127884/06; appl. 31.07.2006; publ. 27.07.2008; Bul. №. 21.
9. Patent 2383757 of the Russian Federation, IPC F 02 D 39/08, F 02 B 3/10, F 02 M 45/00. System for overcoming short-term overloads of a diesel engine / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, V.A. Matveev et al. ; Penza state agricultural academy. - №2008137023/06; appl. 15.09.2008; publ. 10.03.2010, Bul. № 7.
10. Ryblov, M.V. Improvement of the inlet pipeline of the 4411/12,5 diesel for work with single-point and two-point enrichment of air charge / M.V. Ryblov, S.A. Simakov, T.V. Glukhova // Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia: digest of articles of International science and practice conference of young scientists. Volume III. -Penza: Publishing house of PSAA, 2016.- P. 15-18.
11. Ryblov, M.V. Two-point enrichment of the air charge of a diesel engine: a technical solution and a sequence of electromagnetic nozzles operation / M.V. Ryblov, M.D. Dubin, N.A. Abramov, S.A. Simakov // Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia: digest of articles of International science and practice conference of young scientists. Volume III. -Penza: Publishing house of PSAA, 2017. - P. 6-8.
12. Patent for utility model 157301 RF IPC F02D 19/12, F02M 43/00. The system of activator injection into the intake pipeline of the diesel engine / M.V. Ryblov, A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, S.A. Simakov; Penza state agricultural academy. - №. 2015102646; appl. 01/27/2015; publ. 11/27/2015; Bul. №33.
13. Ryblov, M.V. The torque calculation of the diesel engine in case of work with the air charge enrichment / M.V. Ryblov, D.A. Ukhanov, S.A. Simakov // Education, Science, Practice: Innovative aspect: digest of articles of International science and practice conference, dedicated to the Day of the Russian Science. Volume II. - Penza: Publishing house of PSAA, 2015. - P. 61 - 65.
14. Ryblov, M.V. Determination of the static performance of an electromagnetic nozzle for the supply of hydrocarbon activators into to the diesel inlet pipeline / M.V. Ryblov, S.S. Khvalov, S.A. Simakov // The contribution of young scientists to the innovative development of the agro-industrial complex of Russia: digest of articles of International science and practice conference of young scientists dedicated to the 65th anniversary of the FSBEI HE Penza State Agricultural Academy. Volume II. - Penza: Publishing house of PSAA, 2016. - P. 96-99.
15. Ryblov, M.V. Physical and chemical and heat-producing properties of activators used to enrich the air charge of the diesel // The contribution of young scientists to the innovative development of the agro-industrial complex of Russia: digest of articles of International science and practice conference. - Penza: Publishing house of PSAA, 2012. - P. 194 - 196.