

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРОПУСКОМ ПОДАЧ ТОПЛИВА

REGULATION OF TRACTOR DIESEL ENGINE OPERATION MODES BY MISSING FUEL DISTRIBUTION

В.И. ПОТАПОВ¹

Э.М. ГАЙСИН¹, к.т.н.

Р.Р. ГАЛИУЛЛИН¹, д.т.н.

А.С. РОЖКОВ², к.т.н.

¹ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

² Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, Калининград, Россия, gaisin@inbox.ru

V.I. POTAPOV¹

E.H.M. GAJSIN¹, PhD in Engineering

R.R. GALIULLIN¹, DSc in Engineering

A.S. ROZHKOVA², PhD in Engineering

¹ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

² Kaliningrad branch of St. Petersburg State Agrarian University, Kaliningrad, Russia, gaisin@inbox.ru

В статье рассматривается улучшение эффективных показателей дизельных двигателей тракторов на режимах холостых оборотов и малых нагрузок. Возможным способом улучшения показателей работы на таких режимах является отключение цилиндров. Однако у этого метода регулирования есть ряд недостатков, в частности ступенчатое изменение характеристики удельного расхода топлива. Цель работы – повышение топливной экономичности тракторных дизелей при регулировании режимов работы отключением цилиндров. Исследования проводились на тракторных дизельных двигателях 2Ч105х120 и 4Ч105х120, оснащенных распределительными насосами типа НД. Испытания дизельных двигателей 2Ч105х120 и 4Ч105х120 показали, что по мере отключения цилиндров экономичность двигателей ухудшалась даже на малых нагрузках. При дальнейших испытаниях выяснилось, что для достижения необходимого при работе с насосом распределительного типа эффекта от отключения цилиндров требуется корректировка цикловой подачи топлива в работающий цилиндр. Характерной особенностью насосов распределительного типа явилось то, что отключение подачи в один цилиндр существенно изменяло цикловую подачу в другой – остающийся работать – цилиндр. В одном случае она оказывалась больше требуемого и при ее уменьшении удельный расход топлива снижался. В другом случае, когда цикловая подача была меньше, удельный расход топлива можно было снизить ее увеличением. Выявилось, что при простом отключении цилиндров остается нереализованная зона, в которой можно дополнительно получить экономию топлива. Одним из способов реализации этой зоны может стать переход от отключения цилиндров к отключению отдельных подач топлива. Реализовать данный метод возможно при оснащении топливной системы дизеля электронно-управляемым быстродействующим клапаном, который в зависимости от режима работы двигателя будет реализовывать необходимый пропуск подач топлива и регулировку величины цикловой подачи по отдельным цилиндрам. В качестве электромагнитного клапана для отключения подачи топлива был использован клапан фирмы Denso. Для управления работой перепускного клапана был разработан электронный регулятор. Результаты испытаний показали, что при переходе от простого отключения цилиндров к регулированию режимов работы пропуском отдельных подач топлива удельный расход топлива менялся плавно и в диапазоне мощностей, при которых дизельный двигатель работает на данном режиме, сохраняется таким же, что и при работе со всеми цилиндрами.

Ключевые слова: дизельный двигатель, отключение цилиндров, насос, расход топлива, мощность.

The article discusses the improvement of the effective performance of diesel engines of tractors at idle and low loads. A possible way to improve performance in such modes is deactivation of cylinders. However, this method of regulation has a number of disadvantages, in particular, a step change in the characteristic of specific fuel consumption. The goal is to increase the fuel efficiency of tractor diesel engines when regulating the operation modes by switching off the cylinders. Studies were conducted on tractor diesel engines 2Ch105x120 and 4Ch105x120, equipped with distribution pumps of dispenser type. Tests of 2Ch105x120 and 4Ch105x120 diesel engines showed that as the cylinders were disconnected, the engine efficiency reduced even at low loads. Upon further testing, it turned out that in order to achieve the distribution effect of the cylinder shutdown needed when working with the pump of the distribution type, a cyclic fuel supply correction to the operating cylinder is required. A characteristic feature of distribution type pumps was that shutting off the supply to one cylinder significantly changed the cycle flow to the other remaining cylinder. In one case, it turned out to be more than the required one and with its decrease, the specific fuel consumption decreased. In another case, when the cycle feed was less, the specific fuel consumption could be possible to reduce by its increasing. It turned out that with a simple shutdown of the cylinders, there remains an unrealized zone in which you can additionally receive fuel economy. One of the ways to implement this zone can be the transition from disconnecting cylinders to disconnecting individual fuel supplies. It is possible to implement this method by equipping the diesel fuel system with an electronically-controlled high-speed valve, which, depending on the engine's operating mode, will re-align the necessary omission of fuel supply and adjustment of the cycle feed amount for individual cylinders. A Denso valve was used as a solenoid valve to shut off the fuel supply. An electronic regulator has been developed to control the operation of the cross-valve. The test results showed that when switching from simple shutdown of cylinders to regulating the operation modes by skipping individual fuel feeds, the specific fuel consumption changed smoothly and the power range at which the diesel engine operates in this mode remains the same as during work with all cylinders.

Keywords: diesel engine, cylinder shutdown, pump, fuel consumption, power.

Введение

На сегодняшний день из-за постоянного удорожания топлива актуальной задачей является его экономия.

Дизельные двигатели, применяемые на автотракторных средствах, работают в широких диапазонах нагрузок и частот вращения. Наибольшие экономические показатели достигаются на режимах, близких к номинальным. С уменьшением нагрузки, а также при переходе на неустановившиеся нагрузки их эффективные показатели ухудшаются. Это во многом объясняется особенностью работы их топливной системы, а именно с уменьшением оборотов и нагрузок снижается давление и величина впрыскиваемого в цилиндр топлива, и, в итоге, впрыск оказывается «вялым», ухудшается качество смесеобразования и сгорания [1].

Решению этой проблемы в определенной мере может способствовать впрыск увеличенной цикловой подачи топлива на режимах малых нагрузок, например, регулируя режимы работы двигателя путем отключения цилиндров. Однако у такого способа регулирования есть ряд недостатков, в частности ступенчатое изменение удельного расхода топлива [2].

Современные дизельные двигатели оснащены различной топливной аппаратурой: аккумуляторные системы, насос-форсунки и системы непосредственного действия. Применение способа регулирования отключением цилиндров удобно в системах с электронным управлением, как это реализовано в современных системах отключения цилиндров автомобильных двигателей (Honda, Volkswagen, Ford, BMW и др.).

Достаточно большая доля дизельных двигателей имеет топливную систему непосредственного действия. Они оснащены рядными, V-образными и распределительными топливными насосами высокого давления (ТНВД). Если переводить дизельные двигатели, оснащенные рядными и V-образными ТНВД, на регулирование отключением цилиндров, то дополнительно на каждую линию высокого давления необходимо устанавливать устройство отключения. Или необходимо применять специальную конструкцию ТНВД, например, как было реализовано в двигателе Д-130 трактора Т-130 [3].

Удобство распределительных насосов в том, что они имеют одну секцию высокого давления, обслуживающую все цилиндры двигателя.

Цель исследования

Повышение топливной экономичности тракторных дизелей при регулировании режимов работы отключением цилиндров.

Материалы и методы

Исследования проводились по общепринятой методике [4], на тракторных дизельных двигателях 2Ч105х120 и 4Ч105х120, оснащенных распределительными насосами типа НД. Исследования проводились.

Результаты и обсуждение

Последовательное выключение цилиндров предварительно исследовалось на четырехцилиндровом дизеле 4Ч105х120 со штатным насосом распределительного типа. Результаты представлены на рис. 1.

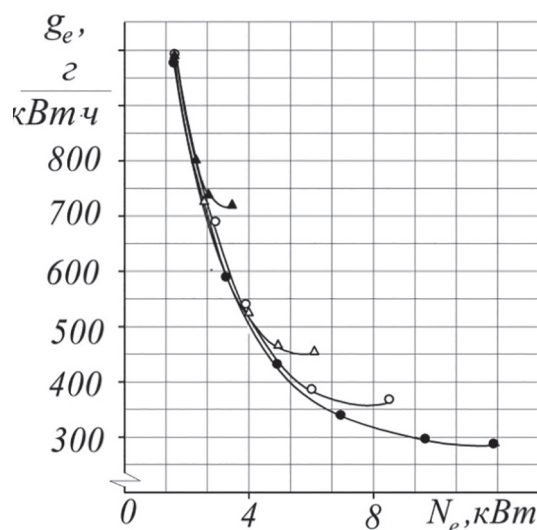


Рис. 1. Нагрузочные характеристики дизеля 4Ч105х120 при работе с насосом НД-21/4 при частоте вращения коленчатого вала 1100 мин⁻¹:

- – работают все цилиндры; ○ – выключен один цилиндр; △ – выключены два цилиндра; ▲ – отключены три цилиндра

Результаты испытаний показали, что по мере отключения цилиндров экономичность двигателя ухудшалась даже на малых нагрузках.

Дальнейшие исследования проводились на двухцилиндровом дизеле 2Ч105х120, с тем чтобы, по возможности, снизить влияние неидентичности цилиндров на результаты испытаний.

Испытания двухцилиндрового дизельного двигателя 2Ч105х120 проводились на режимах малых нагрузок, обеспечиваемых работой одного цилиндра. Результаты приведены на рис. 2.

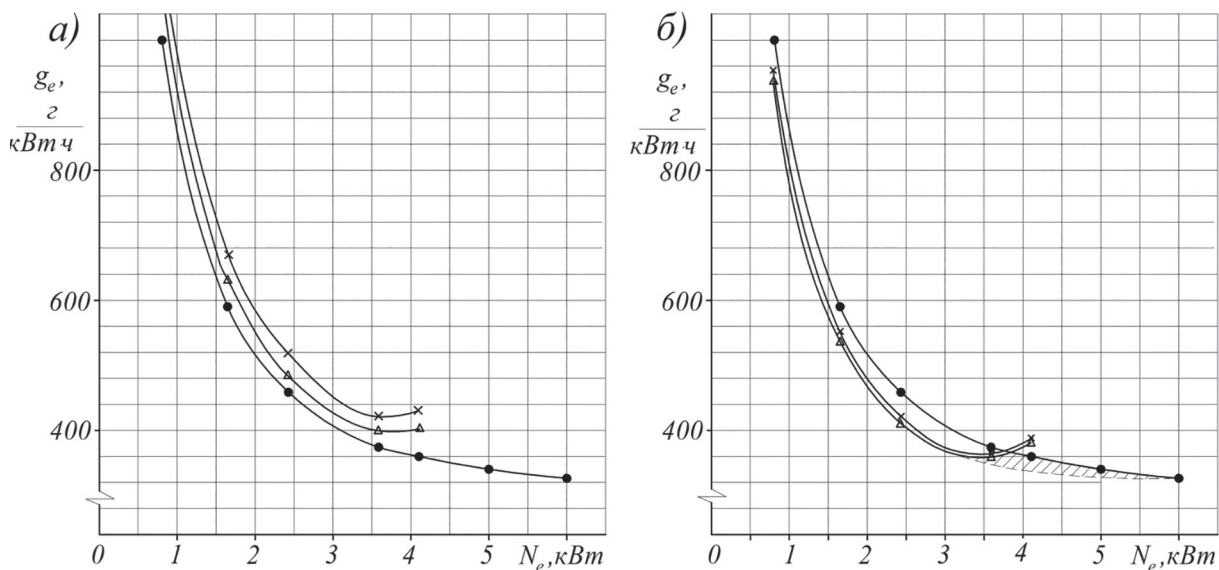


Рис. 2. Нагрузочные характеристики дизеля 2Ч105х120 с насосом распределительного типа НД-21/2 при частоте вращения коленчатого вала 1100 мин⁻¹ и работе:

- – на двух цилиндрах; Δ – на первом цилиндре; × – на втором цилиндре;
- а) и б) – до и после корректировки цикловых подач, соответственно

Из графиков видно, что при отключении любого цилиндра, так же как и на дизеле 4Ч105х120, экономичность двигателя не повысилась, а, наоборот, ухудшилась (рис. 2, а).

При дальнейших испытаниях выяснилось, что для достижения необходимого при работе с насосом распределительного типа эффекта от отключения цилиндров требуется корректировка цикловой подачи топлива в работающий цилиндр. Характерной особенностью насосов распределительного типа явилось то, что отключение подачи в один цилиндр существенно изменяло цикловую подачу в другой остающийся – работать цилиндр. В одном случае она оказывалась больше требуемого и при ее уменьшении удельный расход топлива снижался. В другом случае, когда цикловая подача была меньше, удельный расход топлива можно было снизить ее увеличением (рис. 2, б).

Из рис. 2 видно, что при отключении одного цилиндра снижение удельного расхода топлива наблюдалась в диапазоне мощностей от 0,8 до 3,7 кВт. Например, при работе на первом цилиндре на режиме с мощностью 3 кВт и частотой вращения 1100 мин⁻¹ удельный расход топлива, по сравнению с работой на двух цилиндрах, снизился на 50 г/(кВт·ч). Дальнейшее увеличение нагрузки приводило к ухудшению экономичности, и для преодоления возрастающей нагрузки требовалось включение в работу второго цилиндра.

Из приведенных данных следует, что отключение одного цилиндра снижает максимальную мощность для режима с частотой вращения 1100 мин⁻¹ с 6 до 3,7 кВт. При этом появляется нереализованная зона, отмеченная на рис. 2, б штриховкой.

Одним из способов реализации этой зоны может стать переход от отключения цилиндров к отключению отдельных подач топлива [5]. Например, при снижении нагрузки на 20 % отключают ориентировочно каждую пятую подачу (рис. 3), на 10 % – десятую, на 1 % – сотую и т.д. При этом в продолжающие работать цилиндры будет впрыскиваться увеличенный объем топлива.

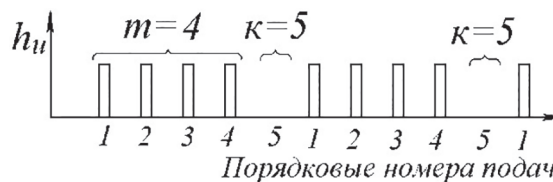


Рис. 3. Условные осциллограммы подъема иглы распылителя h_u , поясняющие число m реализованных очередных и порядковый номер k пропускаемой подачи при работе двигателя с 80%-й нагрузкой

Реализовать данный метод возможно при оснащении топливной системы дизеля электронно-управляемым быстродействующим клапаном, который в зависимости от режима

работы двигателя будет реализовывать необходимый пропуск подачи топлива и регулировку величины цикловой подачи по отдельным цилиндрам.

Особенность распределительных насосов в том, что многие модели имеют технологический канал в центре корпуса секции высокого давления. Этот канал соединен с линией высокого давления и заглушен болтом [6].

При оснащении системой пропуска подачи топлива дизельного двигателя с ТНВД распределительного типа достаточно одного электромагнитного клапана.

В качестве электромагнитного клапана для отключения подачи топлива был использован клапан фирмы Denso. Этот клапан вкручивался в корпус-штуцер, который в свою очередь вворачивался в корпус ТНВД (рис. 4).

Для управления работой перепускного клапана был разработан электронный регулятор, функциональная схема которого приведена на рис. 5.

Электромагнитный клапан 1 получает импульсы от процессора 3 электронного блока управления II и коммутатора 2 в соответствии с сигналами, поступающими от датчиков III и IV.

Получаемые сигналы предварительно преобразовываются в цифровой код аналого-цифровым преобразователем 7. Затем процессор 3 вычисляет адрес значения числа пропусков подачи топлива, оптимального для данного режима работы двигателя в постоянно-запоминающем устройстве 5, и считывает значение через шину 6. При выработывании датчиком IV импульса процессор 3 формирует пропуск или подачу тока к обмотке электромагнита клапана 1.

На рис. 6 представлен упрощенный алгоритм программы управления, прошитый в постоянно-запоминающее устройство регулятора.

Отличительными особенностями алгоритма программы управления являются:

- использование прерываний;
- вывод на экран дисплея информации об ошибках (при выходе из строя датчиков).

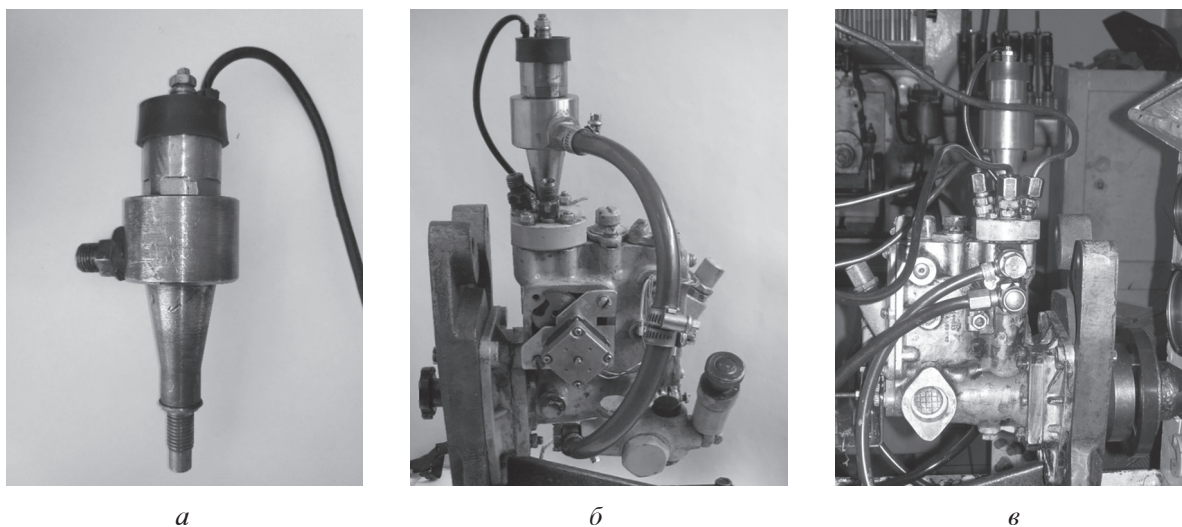


Рис. 4. Вид корпус-штуцера с монтированным клапаном Denso (а) и экспериментальные насосы НД-21/2 (б), НД-21/4 (в)

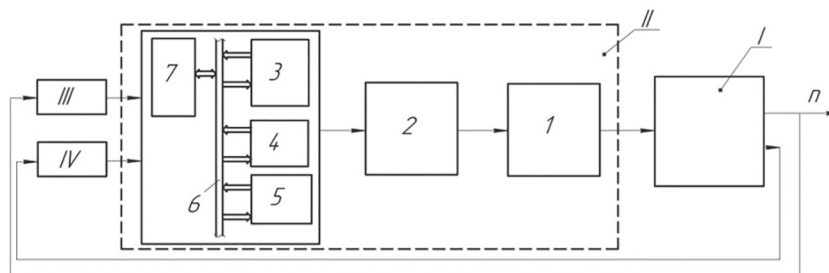


Рис. 5. Функциональная схема электронного регулятора:

- I – дизель; II – электронный блок управления; III и IV – датчики частоты вращения и углового положения коленчатого вала; 1 – электромагнитный клапан; 2 – коммутатор; 3 – микропроцессор; 4 – оперативно-запоминающее устройство; 5 – постоянно-запоминающее устройство; 6 – шина; 7 – аналого-цифровой преобразователь

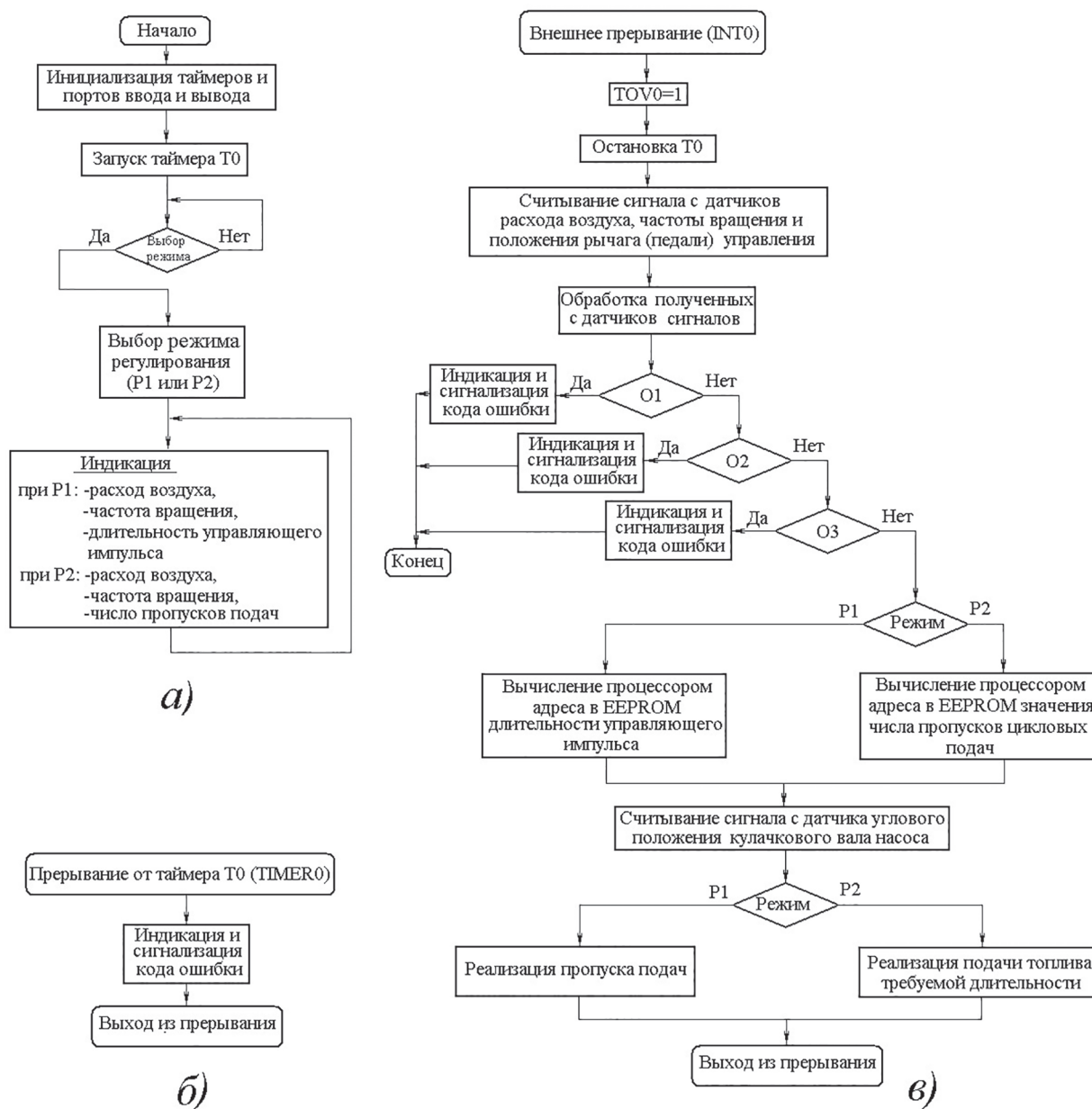


Рис. 6. Упрощенный алгоритм программы управления:

а – основная программа; б и в – подпрограммы, запускаемые при наступлении прерываний

Индикация данных осуществляется с помощью жидкокристаллического дисплея типа LCD, обладающего большой информативностью.

В режиме передачи данных дисплей принимает и отображает знаки кода ASCII, полученные от микроконтроллера. При этом он может выполнять некоторое количество команд, обеспечивающих частичное или полное стирание отдельных символов, полное стирание всей информации, указание позиции курсора и т.д. Эти команды ускоряют управление дисплеем (повышают быстрдействие). Обмен информа-

цией между микроконтроллером и LCD осуществляется восьмибитным интерфейсом.

С использованием разработанного блока управления и предложенного метода управления были проведены испытания дизельного двигателя 2Ч105х120 с экспериментальным насосом НД21/2 (рис. 7).

Как видно из представленных данных, при таком способе регулирования удельный расход топлива меняется плавно и расширяется диапазон мощностей на режиме с частотой вращения коленчатого вала 1100 мин⁻¹. Так при мощности 4 кВт удельный расход топлива снизился на 4,8 %.

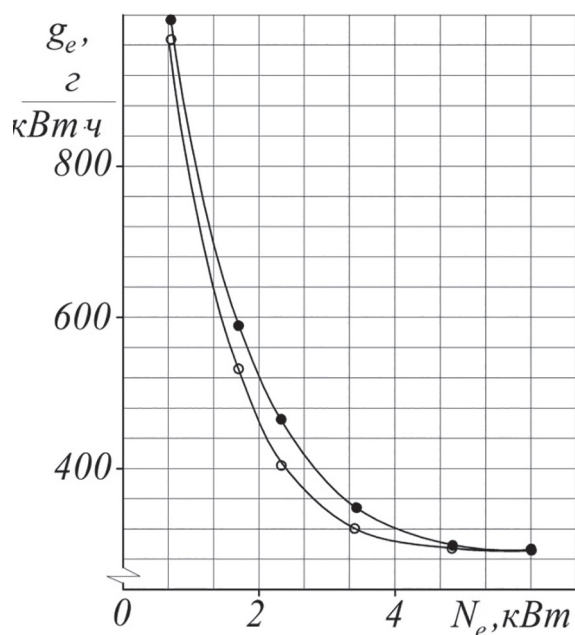


Рис. 7. Нагрузочные характеристики дизеля 2Ч105x120 с экспериментальным насосом при частоте вращения коленчатого вала 1100 мин⁻¹ и работе:
 ● – на двух цилиндрах;
 ○ – с пропуском подачи топлива

Выводы

Для получения эффекта от отключения цилиндров при работе с насосом распределительного типа необходима корректировка цикловой подачи топлива в работающий цилиндр. При этом возникают трудности, в связи с тем что распределительные насосы не допускают регулировки величины подачи в отдельные цилиндры двигателя. В случае электронного регулирования эти трудности могут быть преодолены относительно просто.

Конструктивная особенность распределительных насосов, заключающаяся в том, что они имеют технологический канал, который соединен с линией высокого давления, позволяет использовать лишь один электромагнитный клапан.

При переходе от простого отключения цилиндров к регулированию режимов работы пропуском отдельных порций топлива удельный расход топлива менялся плавно и диапазон мощностей, при которых дизельный двигатель работает на данном режиме, сохраняется таким же, как и при работе со всеми цилиндрами.

Литература

1. Баширов Р.М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета: учебник. Уфа: Башкирский ГАУ, 2017. 336 с.
2. Баширов Р.М., Габдрафиков Ф.З., Инсафудинов С.З. Последовательное отключение цилиндров как метод повышения эффективности работы тракторного дизеля // Достижения аграрной науки – производству: сборник. Уфа. 2004. С. 20–23.
3. Злотник М.И., Иванов Е.И. и др. Трактор Т-130: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1973. 207 с.
4. ГОСТ 18509–88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний.
5. Гайсин Э.М. Повышение топливной экономичности тракторных дизелей регулированием режимов их работы пропуском подачи топлива: дис. канд. техн. наук. СпбГАУ, 2007. 129 с.
6. Голубков Л.Н., Савастенко А.А., Эммил М.В. Топливные насосы высокого давления распределительного типа: учебное пособие. М.: Легион-Автodata, 2005. 192 с.

References

1. Bashirov R.M. Avtotraktornye dvigateli: konstrukciya, osnovy teorii i rascheta [Sequential shutdown of cylinders as a method to improve the efficiency of the tractor diesel]: uchebnik. Ufa: Bashkirskij GAU Publ., 2017. 336 p.
2. Bashirov R.M., Gabdrafikov F.Z., Insafuddinov S.Z. Sequential shutdown of cylinders as a method to improve the efficiency of the tractor diesel. Dostizheniya agrarnoj nauki – proizvodstvu: sbornik. Ufa. 2004, pp. 20–23 (in Russ.).
3. Zlotnik M.I., Ivanov E.I. i dr. Traktor T-130: uchebnoe posobie [Tractor T-130: study guide]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1973. 207 p.
4. GOST 18509-88 Dizeli traktornye i kombajnovye. Metody stendovyh ispytaniy [Tractor and combine diesel engines. Bench test methods].
5. Gajsin E.M. Povyshenie toplivnoj ehkonomichnosti traktornyh dizelej regulirovaniem rezhimov ih raboty pro-puskom podachi topliva: dis.... kand. tekhn. nauk [Increase of fuel economy of tractor diesel engines by regulation of their operation modes by missing fuel supply: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. SpbGAU., 2007. 129 p.
6. Golubkov L.N., Savastenko A.A., EHmil' M.V. Toplivnye nasosy vysokogo davleniya raspredelitel'nogo tipa [Distribution-type high pressure fuel pumps: study guide]: uchebnoe posobie. Moscow: Legion-Avtodata Publ., 2005. 192 p.