

ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА С ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМЫМ ПРОПУСКОМ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

В.И. Потапов, инженер, ООО «Энерготехстрой» г.Уфа,
Р.Р. Галиуллин, д.т.н., зав кафедрой
Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

Разработана электронно-управляемая топливоподающая система с регулируемым пропуском подачи топлива и предложены способы регулирования режимов работы дизелей в составе генераторных установок. Дана оценка эффективности работы дизелей в генераторных установках путем регулирования нагрузки за счет пропуска подачи топлива.

Введение

Эффективные показатели дизелей при работе в генераторных установках оказываются наиболее высокими при номинальных, причем постоянных нагрузках. С уменьшением нагрузки на двигатель, а также при работе на неустановившиеся режимах они заметно ухудшаются.

Это во многом является результатом несовершенства аппаратуры топливоподачи механического типа с жестким приводом плунжера в составе насоса высокого давления и инертностью действия механических регуляторов центробежного типа. Из-за этих недостатков трудно решаются вопросы обеспечения оптимальных параметров топливоподачи для каждого режима работы дизеля [1, 2].

Решению этой проблемы в определенной мере может способствовать впрыск увеличенной цикловой подачи топлива на режимах малых нагрузок, например, путем отключения рабочих ходов в цилиндрах за счет пропуска подачи топлива [3, 4, 7].

Цель и задачи исследования

Цель исследования — повышение эффективности работы дизелей в составе генераторных установок путем электронно-управляемого пропуска подачи топлива.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать топливоподающую систему с электронно-управляемым пропуском подачи топлива;
- провести безмоторные и моторные испытания предложенной системы;
- оценить эффективность работы дизеля в составе генераторной установки при регулировании нагрузки за счет пропуска подачи топлива.

На кафедре электроснабжения и применения электрической энергии в сельском хозяйстве

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ разработана электронно-управляемая топливоподающая система с регулируемым пропуском подачи топлива и предложены способы регулирования режимов работы дизелей в составе генераторных установок [5, 6].

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования разработанной топливной системы проводились на стенде

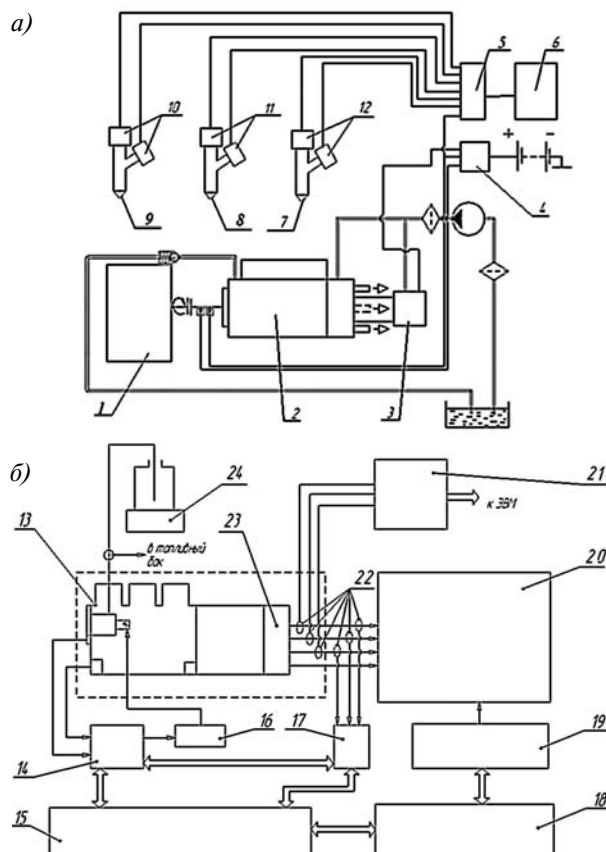


Рис. 1. Схемы установок для безмоторных (а) и моторных (б) исследований:

1 — стенд для испытания топливной аппаратуры; 2 — топливный насос высокого давления; 3 — электронно-управляемый двухзатворный соленоид; 4 — микропроцессорный блок управления; 5 — крейтовая система LTC; 6 и 18 — ЭВМ; 7–9 — форсунки; 10–12 — датчики давления; 13, 23 — дизель и генератор; 14 — микропроцессорный блок управления; 15 — крейтовая система; 16 — преобразователь напряжения; 17 — счетчик электроэнергии CE 301 R33 145-JAZ; 19 — пульт управления нагрузкой; 20 — нагрузочный стенд; 21 — измеритель показателей качества электроэнергии AR.05L; 22 — датчики тока и напряжения; 23 — генератор; 24 — электронные весы

для регулировки топливной аппаратуры (рис. 1, а), а моторные — на специально разработанной и собранной на кафедре установке (рис. 1, б). Измерительная установка была выполнена на базе крейтовой системы LTC.

Обработка данных проводилась на ЭВМ при помощи стандартных программ «Statistika», «Mathcad» и специализированного комплекса программ «ACTest-Pro» производства ООО «Лаборатория автоматизированных систем» (Москва).

Регулирование режимов работы дизеля генераторной установки осуществлялось с использованием электронного блока, разработанного на кафедре. В качестве дозатора топлива использовался электронно-управляемый соленоид фирмы «Denso».

Результаты исследования

На рис. 2 представлены скоростные характеристики насоса высокого давления распределительного типа с электронно-управляемым клапаном при различных длительностях управляющего импульса и частотах вращения кулачкового вала насоса. Данная характеристика в дальнейшем была использована при построении базовой характеристики для электронного регулятора.

Для надежного срабатывания клапана соленоида на частотах вращения дизеля 3000–3100 об/мин использовался форсирующий импульс, создаваемый путем разряда предварительно заряженного бустерного конденсатора.

Ход клапана и подводимый ток к его обмотке представлены на рис. 3.

Моторные испытания электронно-управляемой системы проводились по многофакторному плану. Это позволило в итоге сократить число экспериментов и повысить точность исследований.

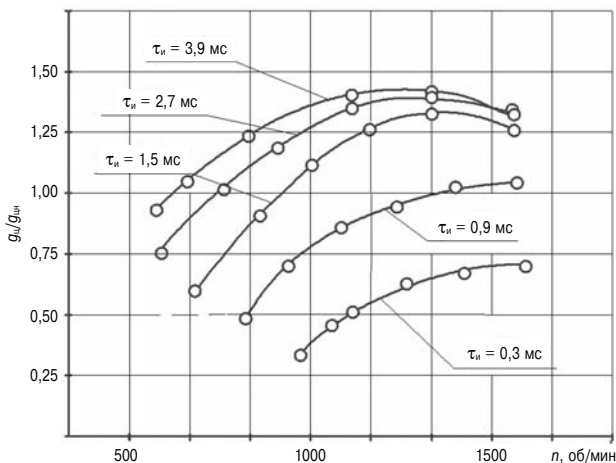


Рис. 2. Скоростные характеристики топливной системы с насосом распределительного типа и электронно-управляемым клапаном при различных длительностях управляющего импульса

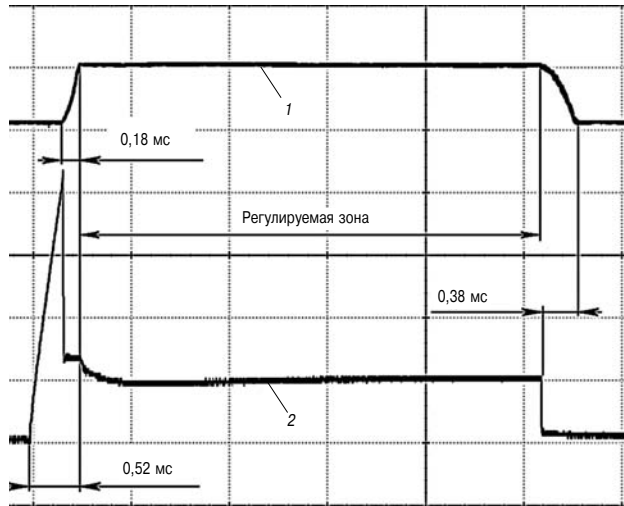


Рис. 3. Оциллограммы хода клапана и тока в обмотке электромагнита соленоида:
1 — ход клапана; 2 — ток

В качестве переменных были выбраны: k — номер пропускаемой подачи, $g_{ци}$ — цикловая подача и n — частота вращения вала двигателя. За параметр оптимизации был принят удельный эффективный расход топлива — g_e .

Управляющими параметрами (X) приняты цикловая подача $g_{ци}$ и номер пропускаемой подачи k ; параметрами состояния (Y) — удельный расход топлива g_e и нагрузка потребителя.

На основе анализа априорных экспериментальных данных была выбрана функция отклика вида

$$g_e = b_0 + b_1 \cdot g_{ци} + b_2 \cdot \Delta\theta + b_3 \cdot N_e + b_{11} \cdot g_{ци} \cdot \Delta\theta + b_{22} \cdot g_{ци} \cdot N_e + b_{33} \cdot \Delta\theta \cdot N_e + b_{12} \cdot g_{ци}^2 + b_{13} \cdot \Delta\theta^2 + b_{23} \cdot N_e^2.$$

Здесь $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ — коэффициенты регрессии, определяемые методом вариационно-статической обработки результатов многофакторного эксперимента.

Для определения коэффициентов регрессии использована программа Mathcad.

Значения факторов определены по общепринятой методике с использованием экспериментальных данных. Например, при значениях $g_{ци} = 18,3 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $\Delta\theta = 4,9 \text{ град}$ и $N_e = 9,2 \text{ кВт}$ удельный эффективный расход оказался равным $g_e = 270,8 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$.

Адекватность модели была доказана критерием Фишера; рассчитанное значение его не превышало табличного ($1,97 < 2,0$).

Функция отклика с рассчитанными коэффициентами в окончательном виде

$$g_e = 4567 - 469,249 \cdot g_{ци} + 1,546 \cdot 10^3 \cdot \Delta\theta - 795,367 \cdot N_e - 42,277 \cdot g_{ци} \cdot \Delta\theta + 3,029 \cdot g_{ци} \cdot N_e + 141,26 \cdot \Delta\theta \cdot N_e + 17,848 \cdot g_{ци}^2 - 215,986 \cdot \Delta\theta^2 + 1,811 \cdot N_e^2.$$

Результаты расчетов, выполненных с использованием этого выражения и экспериментов приведены на рис. 4.

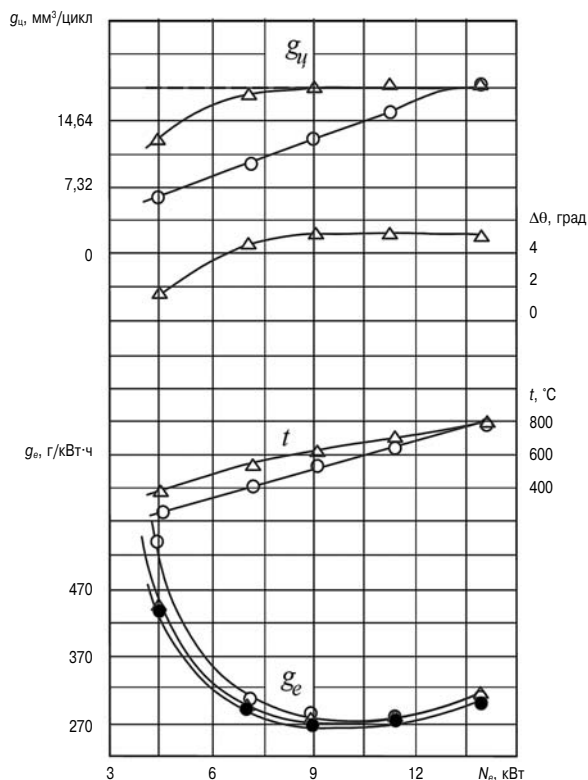


Рис. 4. Нагрузочная характеристика дизеля электростанции KIPOR KDE19AE3:

1 — при работе со штатной системой управления; 2 — при работе с экспериментальной системой управления; 3 — удельный расход топлива, рассчитанный по многофакторному плану

Для достижения наибольшей экономичности регулирование режимов работы дизеля электростанции обеспечивалось комбинированным способом: при работе с номинальной нагрузкой и перегрузкой — изменением цикловой подачи, а на частичных режимах — пропуском подач с дополнительным корректированием цикловых подач в работающих цилиндрах. Кроме того, на отдельных нагрузочных режимах система дополнительно корректирует номер пропускаемой подачи. Так, например, при нагрузках потребителя 13,5 кВт микропроцессорный блок реализует 100 %-ную подачу ($m = 100\%$) (см. рис. 4). На участке номинальных и частичных (до 7 кВт) нагрузок номер пропускаемой подачи увеличивается на единицу, а при дальнейшем снижении нагрузки этот коэффициент увеличивается еще на единицу.

Из рис. 4 видно, что при реализации комбинированного управления достигается более экономичная работа дизеля электростанции. И экономичность тем выше, чем ниже нагрузка потребителя. Так, например, при нагрузках 6 кВт расход топлива снижается с 355,6 до 322 г/(кВт·ч), т. е. на 9,4 %, а при 4,5 кВт это снижение составляет 19,3 % (с 540 до 436 г/(кВт·ч)).

При работе дизеля с комбинированным управлением топливоподачей температура отработавших газов оказывается выше, чем при штатной системе. Так, на режиме 4,5 кВт при работе дизеля со штатной системой, температура отработавших газов составила 440 °С, экспериментальной — 550 °С. Такая разница объясняется возрастанием нагрузки на продолжающие работать цилиндры.

Выводы

Таким образом, переход на регулирование режимов работы дизеля генераторных установок пропуском подачи топлива может стать эффективным способом повышения их экономичной работы, к тому же модернизация системы топливоподачи не требует существенного изменения конструкции двигателя — снимается механический регулятор, а вместо штуцера НВД устанавливается штуцер с установленным в нем электронно-управляемым перепускным клапаном.

Литература

1. Баширов Р.М., Галиуллин Р.Р. Регулирование топливоподачи в тракторных дизелях мощности / учебное пособие для вузов. Уфа : Башкирский ГАУ, 2008. 168 с.
2. Гришин Д.К., Эммиль М.В. Исследование переходных процессов дизель-генератора, оснащенного системой отключения циклов // Вестник Российского университета дружбы народов. 2004. № 1. С. 23–27.
3. Галиуллин Р.Р., Гайсин Э.М. Регулирование режимов работы дизелей пропуском подачи топлива // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. № 11. С. 30–31.
4. Галиуллин Р.Р. К вопросу регулирования частоты вращения коленчатого вала двухцилиндрового дизеля автономных электростанций малой мощности // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 37–39.
5. Галиуллин Р.Р., Мифтахутдинов Ф.Ф. Комбинированное электронное регулирование топливоподачи в автономных дизель-генераторах малой мощности // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 3. С. 92–96.
6. Галиуллин Р.Р., Сафин А.В., Потанов В.И. Патент № RU 2468230 Способ регулирования частоты вращения дизель-электрического силового агрегата // Открытия. Изобретения, 2012.
7. Галиуллин Р.Р., Мифтахутдинов Ф.Ф. Патент № RU 2543105 Способ повышения эффективного КПД дизеля электрического силового агрегата // Открытия. Изобретения, 2015.
8. Драгунов Г.Д., Мурог И.А., Медведев А.Н. Эффективность отключения части цилиндров для повышения топливной экономичности дизеля КАМАЗ-740.10 // Двигателестроение. — 2010. — № 2. — С. 34–36.
9. Патрахальцев Н.Н., Страшинов С.В., Корнев Б.А., Мельник И.С. Регулирование дизеля методом отключения-включения цилиндров или циклов // Двигателестроение. — 2011. — № 3. — С. 7–12.
10. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей М. : Легион-Автодата, 2004 344 с.