

А.В. Гриценко, канд. техн. наук, доцент
С.С. Куков, канд. техн. наук, доцент
Д.Д. Бакайкин, инженер, ст. преподаватель
 Челябинская государственная агроинженерная академии

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ФОРСУНКИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ТОПЛИВОПОДАЧИ

Целью исследования является теоретическое исследование закономерностей процесса впрыска электромагнитных форсунок.

Отказы системы топливоподачи (СТ) составляют по разным данным 18...30% от всех отказов двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Как следствие отказы вызывают уменьшение мощности ДВС на 15...23% и повышение токсичности в 1,5...2 раза [1].

Комплексным диагностическим параметром технического состояния ЭМФ является пропускная способность, так как практически все неисправности ЭМФ отражаются на ней [2].

В связи с тем, что при работе ЭМФ выделяют три этапа топливоподачи: начало открытия иглы ЭМФ, полное открытие иглы ЭМФ, закрытие иглы ЭМФ, проведем анализ процесса топливоподачи.

Изменение пропускной способности ЭМФ μ_f бензинового ДВС во времени t , с под действием электромагнитного импульса U , В, на всех трех этапах работы ЭМФ представлено на рис. 1.

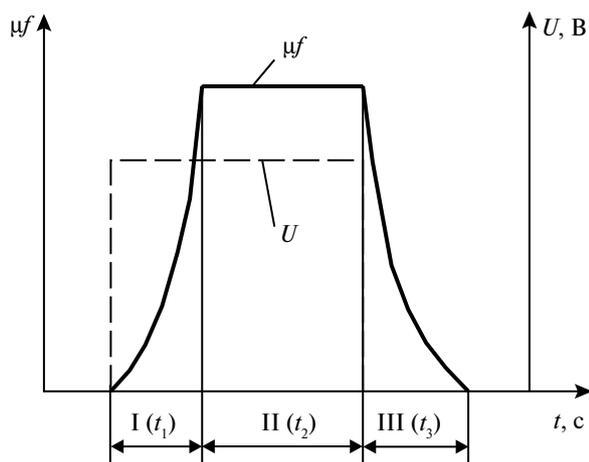


Рис. 1. Изменение пропускной способности ЭМФ μ_f бензинового ДВС во времени t , с, под действием электромагнитного импульса U , В:

t_1 — время открытия иглы ЭМФ, с; $t_{имп}$ — время действия электромагнитного импульса, с; t_2 — время полного открытия иглы ЭМФ, с; t_3 — время закрытия (опускания) иглы ЭМФ, с; I этап — увеличение пропускной способности ЭМФ; II этап — постоянство пропускной способности ЭМФ, III этап — уменьшение пропускной способности ЭМФ

Таким образом, из анализа рис. 1 получаем суммарное время всех трех этапов изменения пропускной способности ЭМФ:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3, \quad (1)$$

На первом этапе происходит подъем запорной иглы на максимальную величину, при этом пропускная способность ЭМФ увеличивается. Движение иглы вверх при открытии ЭМФ происходит под действием ряда сил: тяговой силы электромагнита $F_{тэ}$, силы предварительного сжатия пружины $F_{прс}$, силы давления топлива на иглу F_d и сил трения $F_{тр}$ (рис. 2).

Равнодействующая всех сил, действующих на иглу ЭМФ, описывается уравнением:

$$F = F_{тэ} - (F_{прс} + kx) - SP - F_{тр}, \quad (2)$$

где $F_{тэ} = \frac{0,5}{\mu_0} B^2 S$ — тяговая сила электромагнита, Н; μ_0 — магнитная проницаемость в вакууме; B — магнитная индукция, Тл; S — площадь поперечного сечения запорной иглы, m^2 ; $F_{прс}$ — сила предварительного сжатия пружины, Н; k — коэффициент жесткости пружины, Н/м; x — перемещение иглы ЭМФ, м; P — давление топлива в рампе, Па; $F_{тр}$ — силы трения, Н.

Перемещение запорной иглы x_1 на первом этапе открытия ЭМФ при условии, что тяговая сила электромагнита, создаваемая однородным магнитным потоком при малых перемещениях принимается постоянной, описывается уравнением

$$x_1 = \frac{(F_{тэ} - F_{прс} - SP - F_{тр})t_1^2}{\left(1 + \frac{k}{m}\right)m}, \quad (3)$$

где m — масса запорной иглы, кг; t_1 — время открытия ЭМФ, с, P — давление топлива, Па.

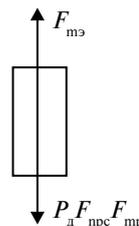


Рис. 2. Схема соотношения сил, действующих на иглу форсунки

При подаче электрического импульса на ЭМФ открытие запорной иглы происходит не мгновенно. Время открытия ЭМФ включает в себя время трогания иглы t_t , измеряемое от момента подачи напряжения на обмотку до момента начала движения иглы и время движения иглы t_d . Следовательно, время открытия ЭМФ более полно описывается уравнением

$$t_1 = t_t + t_d = \frac{\omega BS}{IR} \ln \frac{1}{1 - I_t / I_y} + \sqrt{\frac{2x_1 m}{0,5 / \mu \left(\mu \frac{I \omega}{2\pi r} \right) - (F_{прс} + kx) - SP - F_{тр}}} \quad (4)$$

где ω — число витков, I — сила тока в обмотке, A ; R — активное сопротивление обмотки электромагнита, Ом; I_t — ток трогания подвижной системы, А; I_y — установившееся значение тока в обмотке, А; r — средний радиус катушки, м; μ — магнитная проницаемость среды.

Анализ уравнений (3), (4) показывает, что на длительность I этапа оказывают влияние тяговая сила электромагнита, сила предварительного сжатия пружины, сила давления топлива в рампе, силы трения в период ее открытия, т. е. структурные параметры технического состояния ЭМФ. Время открытия ЭМФ является выходным параметром процесса топливоподачи, комплексно отражающим все структурные параметры технического состояния ЭМФ.

Второй этап работы ЭМФ характеризуется неизменной пропускной способностью во времени, так как игла находится в неподвижном и максимально поднятом состоянии. Время полного открытия форсунки описывается уравнением

$$t_2 = t_{имп} - t_1. \quad (5)$$

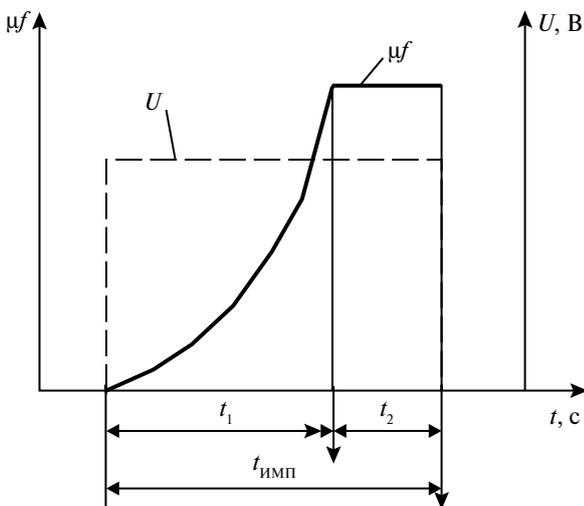


Рис. 3. Зависимость пропускной способности ЭМФ μf , m^2 от времени действия электрического импульса U , В.

Графическое изображение изменения пропускной способности ЭМФ за время действия электрического импульса представлено на рис. 3.

Если время t_1 по причине изменения технического состояния увеличивается, то общая подача топлива ЭМФ на I и II этапах уменьшается и, наоборот, уменьшение времени t_1 вызывает увеличение подачи топлива на I и II этапах. Кроме этого, степень влияния I этапа на II зависит от времени импульса: чем больше время импульса, тем меньше степень влияния на общую пропускную способность ЭМФ оказывает I этап.

Третий этап характеризуется уменьшением пропускной способности ЭМФ, в ходе него выключается подача электрического сигнала и игла запирает проходной канал ЭМФ. При этом перемещение иглы запорного клапана происходит под действием силы сжатой пружины, давления топлива на иглу и силы трения между запорной иглой и корпусом ЭМФ. Перемещение иглы на III этапе описывается уравнением

$$x_3 = \frac{(F_{прс} + SP - F_{мп})t_3^2}{\left(1 + \frac{k}{m}\right)m}. \quad (6)$$

Время закрытия ЭМФ при отключении обмотки от источника питания складывается из времени спада магнитного потока $t_{сп}$, отсчитываемого от момента разрыва цепи обмотки до момента трогания запорной иглы, и времени возвратного движения запорной иглы $t_{вд}$:

$$t_3 = t_{сп} + t_{вд} = \int_{\Psi_T}^{\Psi_Y} \frac{d\Psi}{iR_{дп}} + \sqrt{\frac{2mx_3}{F_{прс} + kx + SP - F_{мп}}}, \quad (7)$$

где Ψ_Y — потокосцепление обмотки при установившемся токе; Ψ_T — потокосцепление, соответствующее току трогания при отпуске; $R_{дп}$ — сопротивление короткозамкнутой обмотки.

Анализ уравнений (6), (7) показывает, что на длительность III этапа закрытия ЭМФ, а следовательно, и на пропускную способность за этот период могут оказывать влияние: сила предварительного сжатия пружины, сила давления топлива в рампе, сила трения.

Общий расход топлива за цикл работы ЭМФ на трех ее этапах таков:

$$Q_{общ} = \left[\mu_1 f_{ср1} t_1 + \mu_2 f_2 (t_{имп} - t_1) + \mu_3 f_{ср3} t_3 \right] \sqrt{2\Delta P / \rho}, \quad (8)$$

где μ_1, μ_2, μ_3 — коэффициенты расхода ЭМФ на трех этапах; $f_{ср1}, f_2, f_{ср3}$ — средняя площадь сечения распылителя ЭМФ на трех этапах, m^2 ; ΔP — разность давления топлива в рампе и впускном коллекторе, H/m^2 ; ρ — плотность топлива, $кг/м^3$.

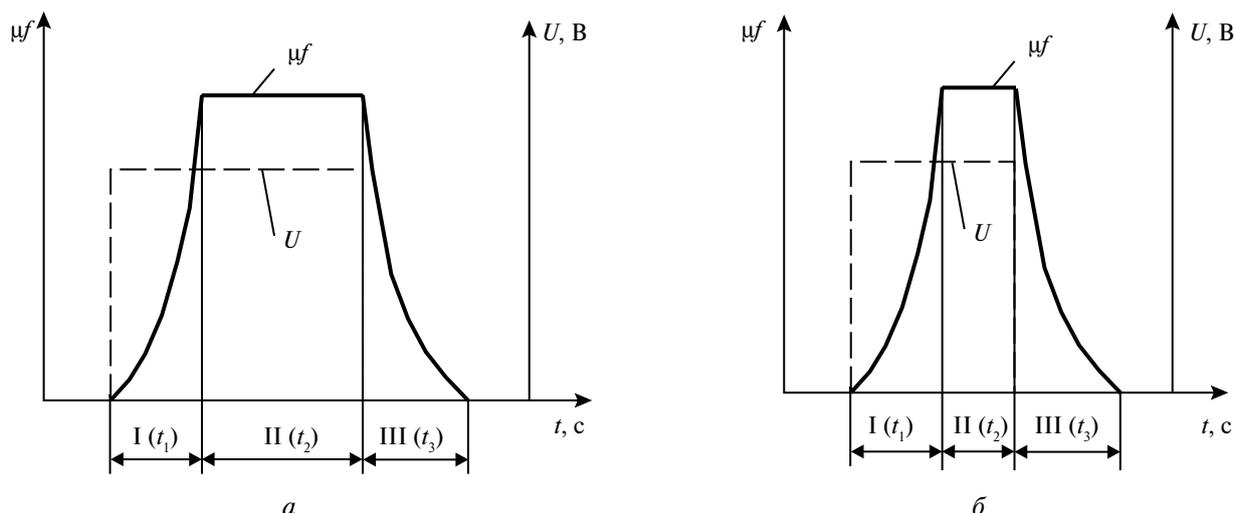


Рис. 4. Процесс работы ЭМФ:
a — при импульсе $U, В$, значительно большем времени открытия ЭМФ $t_1, с$;
б — при импульсе $U, В$, соизмеримым с временем открытия ЭМФ $t_1, с$

Если время импульса, подаваемого на ЭМФ намного больше, чем время поднятия t_1 и время закрытия t_3 запорной иглы, то степень влияния I и III этапов подачи топлива на работу ЭМФ минимально (рис. 4а).

Если время импульса соизмеримо со временем открытия или закрытия ЭМФ, то цикловая подача топлива определяется продолжительностью времени открытия t_1 и закрытия t_3 запорной иглы. Влияние II этапа работы ЭМФ при этом минимально (рис. 4б).

Выводы

Комплексным диагностическим параметром технического состояния ЭМФ является пропуск-

ная способность, которую в процессе эксплуатации необходимо оценивать как минимум в двух режимах работы ДВС: 1) в режиме при электромагнитном импульсе, значительно большем времени открытия ЭМФ; 2) при электромагнитном импульсе, соизмеримым с временем открытия ЭМФ.

Список литературы

1. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю.И. Будыко [и др.]. — Л.: Машиностроение, 1975. — 192 с.
2. Пат. 2418190 RU F 02 М 65/00. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателя / Гриценко А.В., Бакайкин Д.Д., Куков С.С. — № 2009123798; заявл. 22.06.09; опубл. 10.05.11, Бюл. № 13. — 6 с.

УДК 631.171:621.865.8

И.А. Несмиянов, канд. техн. наук
Н.С. Воробьева, канд. техн. наук
В.И. Токарев

Волгоградский государственный аграрный университет

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗОЧНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

В сельскохозяйственном производстве большая доля погрузочно-разгрузочных работ посредством погрузочных манипуляторов, управляемых человеком-оператором, приходится на штучные и затаренные грузы. Эффективным средством для существенного повышения производительности манипулятора является оснащение специальными системами управления, которые позволяют совместить рабочие операции, облегчить сам про-

цесс управления с целью уменьшения утомляемости оператора.

В последнее время оптимальным решением становится комбинация ручного и автоматизированного управления погрузочным средством.

Системы управления манипуляторами с человеком-оператором в контуре управления с точки зрения робототехники относят к биотехническим или эргатическим системам, непосредствен-