

сті: [монографія]. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2001. – 332 с. 2. Турчин В.Т. Вплив технологічного призначення двигуна на ресурсну міцність поршня / В.Т. Турчин, В.О. Пильов, І.Г. Омельченко, М.В. Прокопенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №1. – С. 81–86. 3. Кавтарадзе Р.З. Расчетно-экспериментальное исследование локального теплообмена на огневом днище поршня дизеля, конвертированного в газожидкостный двигатель / Р. З. Кавтарадзе, А. И. Гайворонский, А.А. Зеленцов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". – 2009. – №2. С. 45-57. 4. Никишин В.Н. Исследование неравномерности температурного поля гильзы цилиндра и поршня автомобильного дизеля [Электронный ресурс] / В.Н. Никишин // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, организация: Онлайн-научно-технический журнал. – 2006. – №7. – 5с. – Режим доступа к журн.: <http://kampi.ru/sets>. 5. Лощаков П.А. Результаты расчетно-экспериментальных исследований влияния оребрения охлаждаемой поверхности гильзы цилиндров на температурное состояние гильз и поршней дизелей ЯМЗ / П.А. Лощаков // Двигателестроение. – 2000. – № 1. – С. 57-58. 6. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности / [Ф.И. Абрамчук, А.П. Марченко, Н.Ф. Разлейцев и др.]; под. ред. А.Ф. Шеховцова. – К.: Техника, 1992. – 272 с. 7. Матвеев В.В. Попередня оцінка температурного стану поршня з урахуванням нерівномірного тепловідведення в зоні верхнього кільця / В.В. Матвеев, В.О. Пильов, М.В. Прокопенко, І.Г. Позжидяев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. № 1. – С. 78-81. 8. Зеленцов А.А. Исследование локального теплообмена в камере сгорания дизеля, конвертированного на природный газ: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А.А. Зеленцов. – Москва, 2011. – 16 с. 9. Процессы в перспективных дизелях / [А.Ф. Шеховцов, Ф.И. Абрамчук, В.И. Крутов и др.]; под. ред. А.Ф. Шеховцова. – Х.: Изд-во "Основа", 1992. – 352с. 10. Матвеев В.В. Разработка теоретических стационарных экономических моделей эксплуатации автотракторных дизелей для системы прогнозирования ресурсной прочности поршней / В.В. Матвеев, В.А. Пылев // Сб. научных трудов Между-

нар. конф. «Двигатель-2010», посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – С. 64-67.

**Bibliography (transliterated):**

1. Pil'ov V.O. Avtomatizovane proektuvannya porshniv shvidkohidnih dizeliv iz zadanim rivnem trivaloi micnosti: Monografija. – Harkiv: Vidavnicij centr NTU «HPI», 2001. – 332 s. 2. Turchin V.T. Vpliv tehnologichnogo prznachennja dviguna na resursnu micnist' porshnja / V.T. Turchin, V.O. Pil'ov, I.G. Omel'chenko, M.V. Prokopenko // Dvigateli vnutrennego sgoranja. – 2008. №1. – S. 81–86. 3. Kavtaradze R.Z. Raschetno-jeksperimental'noe issledovanie lokal'nogo teploobmena na ognemom dniwe porshnja dizelja, konvertirovannogo v gazozhidkostnyj dvigatel' / R. Z. Kavtaradze, A. I. Gajvoronskij, A.A. Zelencov // Vestnik MG TU im. N.Je. Baumana. Ser. "Mashinostroenie". – 2009. – №2. S. 45-57. 4. Nikishin V.N. Issledovanie neravnomernosti temperaturnogo polja gil'zy cilindra i porshnja avtomobil'nogo dizelja [Jelektronnyj resurs] / V.N. Nikishin // Social'no-jekonomicheskie i tehnicieskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, organizacija: Onlajnovyj nauchno-tehnicheskij zhurnal. – 2006. – №7. – 5s. – Rezhim dostupa k zhurn.: <http://kampi.ru/sets>. 5. Lowakov P.A. Rezul'taty raschetno-jeksperimental'nyh issledovanij vlijanja orebrenija ohlazhdaemoj poverhnosti gil'zy cilindrov na temperaturnoe sostojanie gil'z i porshnej dizelej JaMZ / P.A. Lowakov // Dvigatelistroenie. – 2000. - № 1. – S. 57-58. 6. Sovremennye dizeli: povyshenie toplivnoj jekonomichnosti i dlitel'noj prochnosti / [F.I. Abramchuk, A.P. Marchenko, N.F. Razlejcev i dr.]; pod. red. A.F. Shehovcova. – K.: Tehnika, 1992. – 272 s. 7. Matveenko V.V. Poperednja ocinka temperaturnogo stanu porshnja z urahuvannjam nerivnomirnogo teplovidvedennja v zoni verhn'ogo kil'cja / V.V. Matveenko, V.O. Pil'ov, M.V. Prokopenko, I.G. Pozhidaev // Dvigateli vnutrennego sgoranja. – 2010. № 1. – S. 78-81. 8. Zelencov A.A. Issledovanie lokal'nogo teploobmena v kamere sgoranja dizelja, konvertirovannogo na prirodnyj gaz: avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tehn. nauk: spec. 05.04.02 «Teplovyje dvigateli» / A.A. Zelencov. – Moskva, 2011. – 16 s. 9. Processy v perspektivnyh dizeljah / [A.F. Shehovcov, F.I. Abramchuk, V.I. Krutov i dr.]; pod. red. A.F. Shehovcova. – H.: Izd-vo "Osnova", 1992. – 352 s. 10. Matveenko V.V. Razrabotka teoreticheskikh stacionarnykh jekonomichnykh modelej jekspluatacii avtotraktornykh dizelej dlja sistemy prognozirovanija resursnoj prochnosti porshnej / V.V. Matveenko, V.A. Pylev // Sb. nauchnyh trudov Mezhdunar. konf. «Dvigatel'-2010», posvjawennoj 180-letiju MG TU im. N.Je. Baumana – M.: MG TU im. N.Je. Baumana. – 2010. – S. 64-67.

УДК 621.436:681.51

**А.А. Прохоренко, канд. техн. наук**

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ДИЗЕЛЯ С АККУМУЛЯТОРНОЙ СИСТЕМОЙ ТОПЛИВОПОДАЧИ КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Установка на дизеле аккумуляторной системы топливоподачи требует применения электронной системы управления (ЭСУ) этим объектом. Такая ЭСУ обязательно включает в себя регулятор частоты вращения коленчатого вала, тип которого зависит от назначения двигателя. Для подбора параметров, настройки и оптимизации электронного регулятора рационально иметь возможность численного моделирования динамических характеристик двигателя – переходных процессов, возникающих в

результате появления различных возмущающих воздействий.

В учебной и научной литературе достаточно широко представлены решения задач расчета переходных процессов двигателей с наддувом и без наддува по дифференциальному уравнению динамики двигателя [1, 2].

Однако, функциональная схема дизеля с аккумуляторной системой топливоподачи имеет одно существенное отличие от рассматриваемых – эле-

мент в виде топливного аккумулятора, обладающий собственными динамическими свойствами.

До настоящего времени в открытых литературных источниках не опубликованы дифференциальные уравнения, описывающие динамические свойства дизеля с аккумуляторной системой топливоподачи. Устранение этого информационного пробела и есть целью настоящей статьи. Для достижения цели решены следующие задачи:

1. Внесено изменения в известное дифференциальное уравнение динамики поршневой части дизеля.
2. Получено дифференциальное уравнение динамических процессов в гидравлическом аккумуляторе ТС.
3. На основе анализа полученных уравнений определены факторы, влияющие на состояние исследуемой динамической системы.

### Поршневая часть двигателя

Как известно [1, 2], динамические свойства поршневой части двигателя описываются дифференциальным уравнением:

$$J \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta M - \Delta M_c, \quad (1)$$

где  $J$  – момент инерции подвижных частей двигателя,  $\omega$  – угловая скорость коленчатого вала,  $M$  – крутящий момент двигателя,  $M_c$  – момент сопротивления нагрузки,  $\Delta$  – величина отклонения перечисленных факторов от установившегося значения в равновесном режиме.

Очевидно, что для дизеля, оснащенного аккумуляторной системой топливоподачи с электромагнитными форсунками

$$M = f(\tau, \omega, p_m) \text{ и } M_c = f(\omega, N, p_m). \quad (2)$$

Здесь  $\tau$  – продолжительность управляющего импульса, поступающего на электромагнит форсунки,  $p_m$  – давление топлива в аккумуляторе,  $N$  – настройка потребителя (мощность, снимаемая с коленчатого вала).

Отдельно следует остановиться на зависимостях  $M = f(p_m)$  и  $M_c = f(p_m)$ .  $M$  зависит от величины цикловой подачи, которая в свою очередь зависит от величины  $p_m$ . С другой стороны, увеличение  $p_m$  требует повышения работы, затраченной на привод ТНВД, а значит приведет к увеличению  $M_c$ .

После линеаризации зависимостей (2) методом дифференциалов с учетом линейных членов ряда имеем:

$$\Delta M = \frac{\partial M}{\partial \tau} \Delta \tau + \frac{\partial M}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial M}{\partial p_m} \Delta p_m, \quad (3)$$

$$\Delta M_c = \frac{\partial M_c}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial M_c}{\partial \alpha} \Delta N + \frac{\partial M_c}{\partial p_m} \Delta p_m. \quad (4)$$

Тогда, после подстановки (3) и (4) в уравнение (1) и его последующего преобразования, получаем:

$$J \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{\partial M}{\partial \tau} \Delta \tau - \left( \frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} \right) \Delta \omega + \left( \frac{\partial M}{\partial p_m} - \frac{\partial M_c}{\partial p_m} \right) \Delta p_m - \frac{\partial M_c}{\partial N} \Delta N \quad (5)$$

Для дальнейшего анализа введем безразмерные относительные координаты (с индексом 0 – значения выше перечисленных факторов в равновесном режиме):

$$\varphi = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}; \quad x = \frac{\Delta\tau}{\tau_0}; \quad \rho = \frac{\Delta p_m}{p_{m0}}; \quad \alpha = \frac{\Delta N}{N_0}. \quad (6)$$

Поставляем их в уравнение (5) и делим уравнение почленно на  $\frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0$ :

$$\frac{J\omega_0}{\frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial M}{\partial \tau} x \tau_0 - \frac{\left( \frac{\partial(M_c - M)}{\partial \omega} \right) \varphi \omega_0}{\frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0} + \frac{\left( \frac{\partial(M - M_c)}{\partial p_m} \right) \rho p_{m0}}{\frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0} - \frac{\frac{\partial M_c}{\partial N} \alpha N_0}{\frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0} \quad (7)$$

В полученном выражении введем следующие обозначения постоянных коэффициентов:

$$J\omega_0 / \frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0 = T_d \text{ – постоянная времени собственно двигателя,}$$

$\left( \frac{\partial(M_c - M)}{\partial \omega} \right) \omega_0 / \frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0 = k_d$  – коэффициент самовыравнивания,

$\left( \frac{\partial(M - M_c)}{\partial p_m} \right) p_{m0} / \frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0 = \theta_p$  – коэффициент усиления по давлению топлива в аккумуляторе,

$\frac{\partial M_c}{\partial N} N_0 / \frac{\partial M}{\partial \tau} \tau_0 = \theta_n$  – коэффициент усиления по нагрузке.

Тогда уравнение (7) принимает вид:

$$T_d \frac{d\varphi}{dt} = x - k_d \varphi + \theta_p \rho - \theta_n \alpha. \quad (8)$$

**Аккумулятор топлива**

Очевидно, что на динамические свойства дизеля большое влияние оказывает его ТС, а именно самое инерционное звено последней – гидравлический аккумулятор (в случае ТС аккумуляторного типа). До настоящего времени, по литературным данным, при анализе переходных процессов ДВС процессы, происходящие в топливном аккумуляторе ТА, не описывались. Поэтому, ниже представлен подробный вывод дифференциального уравнения динамических свойств гидравлического аккумулятора ТС дизеля.

Процесс массообмена, происходящий в аккумуляторе, описывается уравнением:

$$\frac{dq}{dt} = Q_n - Q_{ym}, \quad (9)$$

где  $q$  – объем топлива в аккумуляторе,  $Q_n$ ,  $Q_{ym}$  – соответственно, объемный расход топлива, поступившего в аккумулятор и вытекшего из него.

Изменение объема топлива в аккумуляторе пропорционально изменению его давления:

$$\frac{dq}{dt} = \alpha_{сж} V \frac{dp_m}{dt} = Q_n - Q_{ym}. \quad (10)$$

Здесь  $\alpha_{сж}$  – коэффициент сжимаемости,  $V$  – геометрический объем аккумулятора.

Используя подстановки:

$$p_m = p_{m0} + \Delta p_m; Q_n = Q_{n0} + \Delta Q_n; Q_{ym} = Q_{ym0} + \Delta Q_{ym}, \quad (11)$$

из уравнения (10) получаем:

$$\alpha_{сж} V \frac{d\Delta p_m}{dt} = \Delta Q_n - \Delta Q_{ym}, \quad (12)$$

так как  $\frac{dp_{m0}}{dt} = 0$ , а  $Q_{n0} = Q_{ym0}$ .

Очевидны следующие зависимости:  $Q_n = f(\omega, p_m)$ ,  $Q_{ym} = f(\tau, p_m, F, \omega)$ . Поясним их подробнее.

1. Поступление топлива в аккумулятор  $Q_n$  обеспечивается объемной подачей ТНВД, которая (в случае нерегулируемого ТНВД) зависит только от частоты вращения вала насоса (а значит – коленчатого вала дизеля) и противодействия (давления топлива в аккумуляторе  $p_m$ ).

2. Истечение топлива из аккумулятора имеет место через электромагнитные форсунки и регулирующийся клапан, управляемый по сигналу широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Тогда  $Q_{ym} = Q_{ym\phi} + Q_{ym\kappa}$ . Расход через форсунку зависит от продолжительности  $\tau$  управляющего сигнала на ее электромагнит, давления  $p_m$ , под действием которого происходит истечение топлива, и частоты

подачи управляющего сигнала на электромагнит форсунки, которая пропорциональна частоте (скорости) вращения коленчатого вала двигателя  $\omega$ . Расход топлива через клапан зависит от давления  $p_m$ , под действием которого происходит процесс истечения и относительной продолжительности  $F$  сигнала ШИМ на электромагнитный клапан аккумулятора.

После линеаризации этих зависимостей, имеем:

$$\Delta Q_n = \frac{\partial Q_n}{\partial \omega} \Delta \omega - \frac{\partial M}{\partial p_m} \Delta p_m, \quad (13)$$

$$\Delta Q_{ym} = \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \Delta \tau + \frac{\partial Q_{ym}}{\partial p_m} \Delta p_m + \frac{\partial Q_{ym}}{\partial F} \Delta F + \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \omega} \Delta \omega \quad (14)$$

Тогда, после подстановки уравнений (13) и (14) в (12) и приведения подобных слагаемых, получаем:

$$\alpha_{сж} V \frac{d\Delta p_m}{dt} = \frac{\partial(Q_n - Q_{ym})}{\partial \omega} \Delta \omega - \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \Delta \tau - \frac{\partial(Q_n + Q_{ym})}{\partial p_m} \Delta p_m - \frac{\partial Q_{ym}}{\partial F} \Delta F \quad (15)$$

Введем относительную безразмерную координату:

$$f = \frac{\Delta p_m}{p_{m0}}. \quad (16)$$

Подстановка безразмерных относительных координат (6) и (16) и деление почленно на  $\frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0$  приводит уравнение (15) к виду:

$$\frac{\alpha_{сж} V p_{m0}}{\frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0} \frac{df}{dt} = \frac{\partial(Q_n - Q_{ym})}{\partial \omega} \omega_0 \varphi - \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0 x - \frac{\partial(Q_n + Q_{ym})}{\partial p_m} p_{m0} \rho - \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} F_0 f \quad (16)$$

В полученном выражении введем обозначения постоянных коэффициентов:

$$\alpha_{сж} V p_{m0} / \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0 = T_{AK} - \text{постоянная времени аккумулятора,}$$

$$\frac{\partial(Q_n - Q_{ym})}{\partial \omega} \omega_0 / \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0 = k_\varphi - \text{коэффициент}$$

усиления по угловой скорости коленчатого вала,

$$\frac{\partial(Q_n + Q_{ym})}{\partial p_m} p_{m0} \left/ \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0 = k_p \right. - \text{коэффициент}$$

самовыравнивания аккумулятора,

$$\frac{\partial Q_{ym}}{\partial F} F_0 \left/ \frac{\partial Q_{ym}}{\partial \tau} \tau_0 = \theta_f \right. - \text{коэффициент усиления по сигналу ШИМ.}$$

Окончательно, уравнение динамики процессов в аккумуляторе примет вид:

$$T_{AK} \frac{d\rho}{dt} = k_\phi \phi - x - k_p \rho - \theta_f f. \quad (17)$$

### Совместная работа двигателя и топливного аккумулятора

Совокупность уравнений (8) и (17) даст систему уравнений, описывающую динамические свойства дизеля без наддува с аккумуляторной ТС:

$$\begin{cases} T_D \frac{d\phi}{dt} = x - k_D \phi + \theta_p \rho - \theta_n \alpha \\ T_{AK} \frac{d\rho}{dt} = k_\phi \phi - x - k_p \rho - \theta_f f \end{cases}. \quad (18)$$

При переходе к операторной форме записи уравнения системы примут вид:

$$\begin{cases} (T_D p + k_D) \phi = x + \theta_p \rho - \theta_n \alpha \\ (T_{AK} p + k_p) \rho = k_\phi \phi - x - \theta_f f \end{cases}. \quad (19)$$

Разделив почленно уравнения системы на собственные операторы двигателя  $(T_D p + k_D)$  и аккумулятора  $(T_{AK} p + k_p)$ , можно преобразовать правые части уравнений в суммы передаточных функций:

$$\begin{cases} \phi = \frac{x}{(T_D p + k_D)} + \frac{\theta_p \rho}{(T_D p + k_D)} - \frac{\theta_n \alpha}{(T_D p + k_D)} \\ \rho = \frac{k_\phi \phi}{(T_{AK} p + k_p)} - \frac{x}{(T_{AK} p + k_p)} - \frac{\theta_f f}{(T_{AK} p + k_p)} \end{cases}, \quad (20)$$

или

$$\begin{cases} \phi = Y_\phi^x + Y_\phi^\rho - Y_\phi^\alpha \\ \rho = Y_\rho^\phi - Y_\rho^x - Y_\rho^f \end{cases}, \quad (21)$$

где  $Y_\phi^x, Y_\phi^\rho, Y_\phi^\alpha, Y_\rho^\phi, Y_\rho^x, Y_\rho^f$  – передаточные функции, соответственно, двигателя (по управляющему импульсу на форсунку, по давлению, по нагрузке) и аккумулятора (по частоте вращения коленчатого вала, по управляющему импульсу на форсунку, по сигналу ШИМ на электромагнит аккумулятора).

Полученное уравнение проиллюстрировано на рис. 1 в виде развернутой функциональной схемы дизеля без наддува с аккумуляторной ТС.

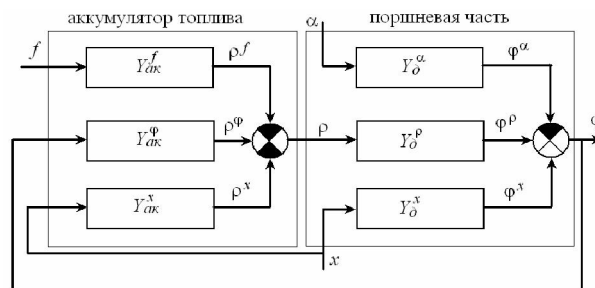


Рис. 1. Развернутая функциональная схема дизеля

Для получения единого уравнения выразим из второго уравнения системы (19) переменную  $\rho$ :

$$\rho = \frac{k_\phi \phi - x - \theta_f f}{(T_{AK} p + k_p)}, \quad (22)$$

и подставим это выражение в первое уравнение системы (19).

После преобразований получаем уравнение второго порядка в операторной форме:

$$\begin{aligned} [T_{AK} T_D p^2 + (k_p T_D + k_D T_{AK}) p + (k_p k_D + \theta_p k_\phi)] \phi = \\ = [T_{AK} p + (k_p - \theta_p)] x - (T_{AK} p + k_p) \theta_n \alpha + \theta_p \theta_f f. \end{aligned} \quad (23)$$

Произведем замены для констант:

$$\begin{aligned} A_0 = k_p k_D + \theta_p k_\phi, A_1 = k_p T_D + k_D T_{AK}, A_2 = T_{AK} T_D, \\ B_0 = k_p - \theta_p, B_1 = T_{AK}, C_0 = T_{AK} \theta_n, C_1 = k_p \theta_n, D_0 = \theta_p \theta_f. \end{aligned} \quad (24)$$

Для исследовательского экспериментального дизеля 1С8,8/8,2 (1ДТА), разработки ХКБД (г. Харьков) с аккумуляторной системой топливоподачи и электронным управлением [3] величина коэффициентов, полученная при идентификации математической модели методом исследования пространства параметров [4], составила:

$$\begin{aligned} A_0 = 0,4, A_1 = 70,4 \text{ с}, A_2 = 3,7 \text{ с}^2, B_0 = 18,7, \\ B_1 = 1 \text{ с}, C_0 = 28,5, C_1 = 1,5 \text{ с}, D_0 = -3. \end{aligned}$$

С учетом замен, уравнение (24) примет вид:

$$[A_2 p^2 + A_1 p + A_0] \phi = [B_1 p + B_0] x - (C_1 p + C_0) \alpha - D_0 f, \quad (25)$$

или в классической форме:

$$A_2 \frac{d^2 \phi}{dt^2} + A_1 \frac{d\phi}{dt} + A_0 \phi = B_1 \frac{dx}{dt} + B_0 x - C_1 \frac{d\alpha}{dt} - C_0 \alpha - D_0 f. \quad (26)$$

Уравнение (26) является линейным дифференциальным уравнением дизеля без наддува с аккумуляторной топливной системой и, как видно, имеет 2-ой порядок.

Тогда, собственные колебания исследуемого объекта – экспериментального дизеля 1ДТА – описываются уравнением:

$$3,7\ddot{\phi} + 70,4\dot{\phi} + 0,4\phi = 0$$

и являются апериодическими затухающими, поскольку данное характеристическое уравнение

имеет вещественные отрицательные корни ( $-19,0213$  и  $-0,0057$ ).

Уравнение (25) можно преобразовать к виду, который является суммой передаточных функций соответственно по управляющему импульсу на форсунку, по нагрузке и по сигналу ШИМ на электромагнит аккумулятора:

$$\varphi = \frac{B_1 p + B_0}{A_2 p^2 + A_1 p + A_0} x - \frac{C_1 p + C_0}{A_2 p^2 + A_1 p + A_0} \alpha - \frac{D_0}{A_2 p^2 + A_1 p + A_0} f = Y_{ак\delta}^x + Y_{ак\delta}^\alpha + Y_{ак\delta}^f \quad (27)$$

Таким образом, исключаются внутренняя координата  $p$  и можно перейти к свернутой функциональной схеме, изображенной на рис. 2.

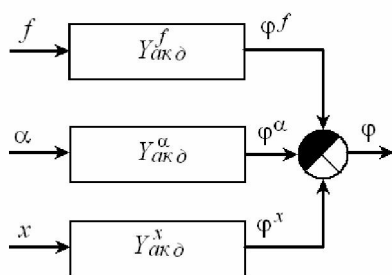


Рис.2. Свернутая функциональная схема дизеля без наддува

Как следует из результатов проведенного анализа, на состояние исследуемой системы (дизель без наддува с аккумуляторной ТС) оказывают влияние три фактора: продолжительность управляющего импульса на электромагнит форсунки (характеризуется значением величины относительной переменной  $x$ ), мощность, снимаемая с коленчатого вала ( $\alpha$ ) и относительная продолжительность сигнала ШИМ на электромагнитный клапан аккумулятора ( $f$ ). Само же состояние системы может быть охарактеризовано двумя параметрами: частотой вращения коленчатого вала двигателя ( $\varphi$ ) и давлением топлива в аккумуляторе ( $p$ ). Следует заметить, что первый параметр – частота вращения коленчатого вала двигателя – непосредственно определяет режим работы двигателя, а второй – давление топлива в аккумуляторе – опосредованно, через влияние на рабочий процесс двигателя и, следовательно, его индикаторные показатели.

**Выводы:**

1. Полученная система дифференциальных уравнений, описывающая динамические свойства дизеля без наддува с аккумуляторной ТС, позволяет сформировать и реализовать математическую модель исследуемого объекта. При этом решение системы возможно как численным, так и аналитическим методом.

2. Полученное линейное неоднородное дифференциальное уравнение 2-го порядка позволило упростить математическую модель путем исключения внутренних переменных и определить факторы, оказывающие влияние на состояние исследуемой системы.

3. Дополнение математической модели двигателя уравнением регулятора позволит создать модель замкнутой САР и с ее помощью расчетными методами определить рациональные параметры электронного регулятора с учетом анализа устойчивости системы и качества переходных процессов.

**Список литературы:**

1. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания./ В.И. Крутов – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с. 2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей./ Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344с. 3. Врублевский А.Н. Особенности математического моделирования гидромеханических процессов ЭГФ / А.Н. Врублевский, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк и др. // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукр. научн.-техн. журнал. – 2007. – №1. – С. 44 – 52. 4. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. Второе расширенное издание / И.М. Соболев, Р.Б. Статников – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.

**Bibliography (transliterated):**

1. Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie dvigatelej vnutrennego sgoraniya./ V. I. Krutov - M.: Mashinostroenie, 1989. - 416 s. 2. Grehov L. V. Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizelej./ L. V. Grehov, N. A. Ivaschenko, V. A. Markov - M.: Legion-Avtodata, 2004. - 344s. 3. Vrublevskij A. N. Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya gidromehaniicheskikh processov EGF / A. N. Vrublevskij, A. L. Grigor'ev, A. V. Gricyuk i dr. // Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Vseukr. nauchn.-tehn. zhurnal. - 2007. - №1. - S. 44 - 52. 4. Sobol' I. M. Vybora optimal'nykh parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami. Vtoroe rasshirennoe izdanie / I. M. Sobol', R. B. Statnikov - M.: Drofa, 2006. - 175 s.