

- CAPE** (Computer Aided Production Engineering) — компьютерно-ориентированный производственный инжиниринг (инструментальная среда «виртуального производства»);
- SADT** (Structured Analyze and Design Technology) — методология структурного анализа при построении информационных систем;
- CALS** (Computer Acquisition and Life Cycle Support) — компьютерная поддержка создания логистических (моделирующих ЖЦ изделия) систем;
- STEP** (Standard for Exchange of Product Data) — международный стандарт ISO-10303 на представление информации о промышленной продукции и обмен данными в компьютерных средах;
- CASE** (Computer Aided Software Engineering) — компьютерная поддержка разработки программного обеспечения (информационных систем);
- EPD** — расширенное (распределенное по смежникам) производство;
- MRP** (Material Resource Planning) — управление материальными потоками (планирование материальных ресурсов);
- TIM** (Technical Information Management) — управление технической информацией;
- Framework** — рабочая (инструментальная) среда (для создания систем моделирования и САПР).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дмитров В. И., Андриенко А. В.** Средства компьютеризированной поддержки STEP-ориентированной технологии проектирования производственных систем // Информационные технологии. 1996. № 3. С. 2–7.
2. **Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г.** Система конструирования среды для математического моделирования сложных технических систем // Изв. вузов. Авиационная техника. 1994. № 1. С. 54–58.
3. **Шатров Б. В.** Материалы совещания рабочей группы MSC «Координация развития программных систем MSC в области проектирования и производства газотурбинных двигателей» (GTET Meeting). Сент. 1997, Мюнхен, The MacNeal-Schwendler Corp. (Германия).
4. **Тихомиров В. Г.** Делая виртуальное производство реальностью // Информационные технологии. 1997. № 1. С. 39–42.
5. **Описание системы ТЕХНОКЛАСС. L-class.** Болгария, София, 1997. 47 с.

ОБ АВТОРЕ

Кривошеев Игорь Александрович, доцент кафедры авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1976), канд. техн. наук по тепловым двигателям ЛА (УГАТУ, 1981). Исследования в области автоматизированного проектирования авиационных двигателей.

УДК 629.062-82

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. А. ЦЕЛИЦЕВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей
Тел: (3472) 23 09 44 E-mail: alla_pgm@mail.ru

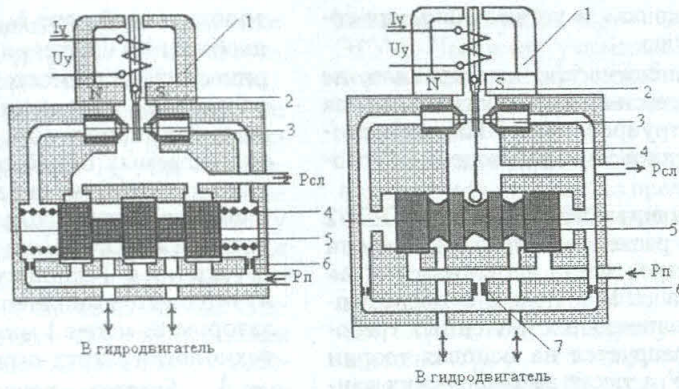
Аннотация: Изложены основы проектирования и разработки двухкаскадных электрогидроусилителей. Приведены типовое техническое задание на разработку электрогидроусилителя, методика и алгоритм проектирования. Рассмотрены вопросы синтеза и анализа параметров электрогидроусилителей

Ключевые слова: двигатели летательных аппаратов; электрогидравлические усилители мощности; синтез и анализ параметров

Электрогидравлические усилители мощности с двухщелевым дросселирующим гидрораспределителем типа «сопло-заслонка» в первом каскаде усиления и золотниковым четырехщелевым гидрораспределителем во втором каскаде нашли широкое применение в следящих гидравлических системах управления летательными аппаратами вследствие простоты конструкции и надежности в работе. Типовые принципиальные схемы электрогидроусилителей с подпружиненным золотником (ЭГУ-1) и с упругой механической обратной связью по положению золотника (ЭГУ-2) приведены на рисунке.

Техническое задание на проектирование ЭГУ-1 и ЭГУ-2 должно включать следующие основные пункты:

1. **Тип используемого ЭМП.** Выбор электромеханического преобразователя (ЭМП) может осуществляться по каталогу типоразмеров в процессе проектирования, исходя из технических требований. Необходимо отметить, что в рассматриваемых ЭГУ применяются, как правило, высоконадежные герметизированные ЭМП с малым ходом якоря и большим усилием, характеризующиеся значительным быстродействием (за счет больших ЭМП), линейностью и симметричностью тяговой характеристики. Максимальное усилие, приведенное к оси сопел и равное $F_{я}^m = K_{Fi} i_y$ (K_{Fi} — коэффициент передачи ЭМП по усилию; i_y — ток в обмотках управления), определяется, как правило, границей насыщения магнитопровода. Основные параметры ЭМП в каталогах обычно ориентированы на угол поворота якоря α . Для



Конструктивные схемы ЭГУ: 1 — ЭМП, 2 — заслонка, 3 — сопло, 4 — центрирующая пружина (пружина обратной связи), 5 — золотник, 6 — балансный дроссель

приведения параметров ЭМП к точке заслонки, совпадающей с осью сопел, необходимо воспользоваться равенством $h = l\alpha$, где l — расстояние от оси ЭМП до оси регулируемых сопел (обычно 1 см). Увеличение i_y более $i_{y \max}$ позволяет повысить $F_{я}^m$, но линейность характеристик ухудшается. В целом $F_{я}^m$ зависит от уровня конструкторской проработки, технологии, качества применяемых материалов и габаритно-массовых показателей. Мостовые схемы магнитной цепи ЭМП обеспечивают большие значения $F_{я}^m$ и лучшую линейность, чем дифференциальные.

2. Выходные параметры усилителя сигнала ошибки. Условие согласования усилителя сигнала ошибки (УСО) с выбранным ЭМП имеет вид $u_{ym} > i_{y \max}(R_{\text{вых}} + R_0)$, где $i_{y \max}$ — максимальный ток управления в пределах линейного участка тяговой характеристики; R_0 — сопротивление обмоток ЭМП; $R_{\text{вых}}$ — выходное сопротивление УСО. Как было показано выше, следует увеличивать $R_{\text{вых}}$ по динамическим соображениям, но это связано с необходимостью увеличения максимального напряжения (u_{ym}), создаваемого выходным каскадом УСО, что не всегда реализуемо.

3. Характеристики нагрузки (золотникового гидрораспределителя) включают диаметр золотника, максимальный ход золотника, максимальный расход жидкости через золотниковую пару при работе ЭГУ с помогающей нагрузкой, жесткость пружины обратной связи, жесткость «гидравлической» пружины золотника, массу золотника, силу сухого трения в золотнике и частоту среза разомкнутого привода (соответственно d_3 , x_m , Q_3^{\max} , $C_{ос}$, $C_{гз}$, m_3 , $F_{тр}$, $w_{ср}$), где предполагается использовать проектируемые ЭГУ.

4. Условия эксплуатации — тип рабочей жидкости, степень фильтрации ψ , температура, давления питания и слива (P_n и $P_{сл}$). Могут задаваться также величины линейных перегрузок и параметры вибраций и внешней среды, но эти факторы на рассматриваемом этапе проектирования не учитываются.

5. Энергетические ограничения в виде фиксированного расхода утечек $Q_{\text{доп}} = 2Q_c + Q_{з \text{ ут}}$. Здесь Q_c , $Q_{з \text{ ут}}$ — расход жидкости через гидроусилитель «сопло-заслонка» и утечки через золотни-

вую пару. В некоторых случаях допускается превышение $Q_{\text{доп}}$, если не выполняются статические и динамические требования ЭГУ. Но это должно оговариваться специально.

К спроектированному ЭГУ предъявляются следующие требования:

1. Статические параметры. К ним относятся значение коэффициента передачи $K_{ЭГУ}$, величина зоны нечувствительности по напряжению Δu_y , линейность управляющей характеристики. Значение $K_{ЭГУ}$ определяется в общем случае отношением x_m/u_{ym} и выбором $C_{ос}$ для ЭГУ-2 малой и средней мощности. Следовательно, возможностью его изменения заключается в варьировании выходных напряжений УСО. Величина u_{ym} позволяет назначить $R_{\text{вых}}$ (если известно $i_{y \max}$), однако регулировать сопротивление не всегда возможно. Поэтому на практике целесообразнее вычислить u_{ym} по фактическим $R_{\text{вых}}$ и $i_{y \max}$, когда выбран типоразмер ЭМП. Зона нечувствительности Δu_y может быть найдена по выражению $\Delta u_y = F_{тр}/A_3 K_{рн}$, где $K_{рн} = K_{Fi} K_{рн}/R_{\Sigma} C$ — коэффициент усиления ЭГУ-2 по давлению; C — суммарная жесткость пружин. Данная формула справедлива для ЭГУ-1 и статического контура ЭГУ-2. Если учитывать силы, действующие в золотнике, и реакцию струй, то значение Δu_y несколько возрастает, а $K_{ЭГУ}$ снижается. Линейность управляющей характеристики в ЭГУ-2 можно специально не исследовать, поскольку она в отличие от ЭГУ-1 определяется линейностью силовой характеристики ЭМП и пружины обратной связи и существенно превышает соответствующий параметр ЭГУ-1.

2. Динамические параметры — полоса пропускания $w_{пп}$ (по уровню «-6 дБ») или частота w_3 (где $\varphi = -45^\circ$) зависит в основном от постоянной времени ЭГУ $T_{ЭГУ}$ как доминирующей постоянной времени. Единственным способом улучшения динамических свойств ЭГУ-1 и ЭГУ-2 являются увеличение $Q_{\text{доп}}$ или уменьшение d_3 .

3. Энергетические параметры — сюда относятся значения максимального коэффициента полезного действия золотникового гидрораспределителя и максимальной мощности управления η_{\max} и $N_{y \max}$ — для ЭГУ-2, поскольку в ЭГУ-2 величина

η моста «сопло-заслонка» в установившемся состоянии близка к нулю.

4. Показатели надежности, как правило, не оговариваются количественно, а обеспечиваются рациональным конструированием ЭГУ, использованием передовой технологии, соблюдением условий эксплуатации.

Методика проектирования ЭГУ-1 и ЭГУ-2 включает 3 этапа: расчет электрической цепи ЭГУ, синтез параметров моста «сопло-заслонка» и расчет параметров ЭГУ в целом с последующей проверкой выполнения поставленных требований. Методика базируется на основах теории проектирования ЭГУ, а также эмпирических данных и статистических сведениях (проливочных характеристиках элементов гидроусилителя, графических коэффициентах расхода и т. п.).

1. Расчет электрической цепи ЭГУ-1 и ЭГУ-2. Целью расчета является определение некоторых параметров УСО ($R_{\text{вых}}, u_{\text{ym}}$) из условий согласования с выбранным типоразмером ЭМП, а также нахождение численных значений суммарного активного сопротивления электрической цепи и постоянной времени магнитного усилителя (R_{Σ}, T_y), необходимых для последующих операций, и мощности $N_{y \text{ max}}$. Для обеих схем ЭГУ целесообразно назначить типоразмер ЭМП по каталогу серийно выпускаемых изделий, рассчитанных на использование в ЭГУ данного класса, и затем скорректировать характеристики УСО с учетом электрических параметров ЭМП.

Из условия $i_{y \text{ max}} = u_{\text{ym}} / (R_{\text{вых}} + R_0)$ легко получить уравнение связи u_{ym} с $R_{\text{вых}}$ в УСО: $u_{\text{ym}} = u_0 + i_{y \text{ max}} R_0$, где $u_0 = R_0 i_{y \text{ max}} = \text{const}$ — падение напряжения на активном сопротивлении обмотки ЭМП при токе управления $i_{y \text{ max}}$. Регулирование $R_{\text{вых}}$ с целью выполнения данного соотношения обуславливает, как правило, необходимость перестройки выходных каскадов УСО или использования специальных схемных решений. Возможность изменения u_{ym} ограничивается сверху напряжением источника питания УСО и в ряде случаев особенностями применяемой схемы. Во всех случаях целесообразно проектировать УСО с максимально высокими значениями u_{ym} , ограничивая ток $i_{y \text{ max}}$ за счет увеличения $R_{\text{вых}}$. В дальнейшем будем полагать, что $R_{\text{вых}} = \text{const}$, а u_{ym} можно устанавливать в достаточно широких пределах. Тогда $u_{\text{ym}} = K_3 i_{y \text{ max}} (R_0 + R_{\text{вых}})$, здесь K_3 — коэффициент запаса, учитывающий уменьшение u_{ym} при различных условиях эксплуатации (его можно выбрать в пределах 1,2–1,3).

Значения R_{Σ} , T_y и $N_{y \text{ max}}$ находятся по формулам: $R_{\Sigma} = R_0 + R_{\text{вых}}$, $T_y = L/R_{\Sigma}$, $N_{y \text{ max}} = R_{\Sigma} i_{y \text{ max}}^2$. Следует отметить, что данный расчет является предварительным, поскольку допускается возврат к полученным параметрам и их уточнение в том случае, если не выполняются те или иные требования к ЭГУ в целом (см. ниже).

2. Синтез параметров золотниковой гидрораспределителя. Данный этап проектирования предусматривает нахождение параметров: площади окна золотниковой пары $A_{\text{ок}}$, ширины окна в

золотниковой паре $b_{\text{ок}}$, d_3 , x_{max}^3 , $Q_{3\text{ym}}$. При этом необходимо внести ряд исходных данных и эмпирических зависимостей, в том числе коэффициент расхода μ_3 , отношение диаметра шейки золотника к его диаметру m , число окон, одновременно открываемых одной отсечной кромкой золотника t , перекрытые окна золотником $x_{\text{пер}}$, радиальный зазор между золотником и гильзой Δ , радиус округления кромки золотника r , параметры нагрузки и т. п. Технологические ограничения состоят в том, что выполнение золотника с радиальным зазором Δ менее 1 мкм на существующем уровне технологии затруднительно.

3. Синтез параметров моста «сопло-заслонка». На этом этапе проектирования находят параметры: расстояние между соплом и заслонкой в ее среднем положении h_0 , командное давление, давление при максимальном смещении золотника и давление в сопле (P_c, P_k, P_m), гидравлические проводимости и коэффициенты моста «сопло-заслонка» ($G_0, G_{\text{нер}}, G_c, \gamma, \beta, \delta$), а также $d_c, C_{\text{пр}}, C_3, C_{\text{г3}}$, коэффициенты усиления по давлению и расходу моста «сопло-заслонка» K_{ph} и K_{qh} , мощности $N_{\text{вых}}, N_{\text{пол max}}$, КПД η , а также некоторые конструктивные размеры. При этом необходимо внести ряд исходных и эмпирических зависимостей, в том числе коэффициенты расхода жидкости через сопло, нерегулируемый и регулируемый дроссель, $\mu_c, \mu_{\text{др}}, \mu_n$, потери на нерегулируемой части сопла $\Delta P_{\text{нер}}$, параметры нагрузки и т. п. Начальные параметры h_0, d_c могут быть получены из среднестатистических зависимостей $d_c = 0,1d_c, h_0 = 0,1d_c$ с последующей проверкой по технологическим ограничениям и чистоте фильтрации жидкости. При этом предполагается, что мост «сопло-заслонка» питается полным давлением подачи, т. е. $P_k = P_n$. Технологические ограничения состоят в том, что точное выполнение сопел с $d_c < 0,35$ мм на существующем уровне технологии затруднительно.

Давление P_c для ЭГУ-2 целесообразно назначить на нижнем пределе устойчивой работы гидроусилителя $P_c = 0,2P_k$ из условия минимизации расхода жидкости через сопло Q_c . Давление P_m для ЭГУ-1 следует назначить не менее 3 МПа. Давление управления в диагонали моста «сопло-заслонка» целесообразно тоже назначить на нижнем пределе, $P_y = 3$ МПа. Если при этом все же оказывается, что следует уменьшить d_c путем организации итерационного цикла с шагом Δd , последний можно выбирать в пределах 0,01–0,05 мм. Для ЭГУ-1 рекомендуется при этом изменять (увеличивать) значение P_m с шагом 1 МПа. В том случае, когда возможности изменения P_m и d_c исчерпаны, т. е. $d_c = 0,35$ мм, а $Q_c > Q_{\text{сноп}}$, приходится снижать P_k , несмотря на неизбежность усложнения конструкции ЭГУ.

В процессе вычисления жесткости $S_{\text{ос}}$ для ЭГУ-2 и $C_{\text{пр}}$ для ЭГУ-1 следует ввести некоторый коэффициент запаса $K_{\text{зап}}$ (порядка 1,1–1,2), учитывающий не только возможное изменение условий эксплуатации, но и влияние гидродинамических сил на якорь ЭМП. Последнее имеет место в случае больших величин C_3 , когда нельзя прене-

брежь значением перепада давлений на золотнике P_d . Условие отсутствия перегрузки ЭМП проверяется на этапе выбора параметров ЭГУ в целом.

При оценке мощности на управление, когда не выполняется соотношение $N_{\text{вых}} \geq N_{\text{пол}}^{\text{max}}$, увеличение $N_{\text{вых}}$ за счет повышения P_k или нецелесообразно, а иногда и недопустимо по причине ухудшения энергетики гидроусилителя. Поэтому по существу единственным способом сокращения $N_{\text{пол}}^{\text{max}}$ является уменьшение C_{T3} посредством гидравлической разгрузки золотника от осевых гидродинамических сил, достигаемой специальным профилированием золотника. Этот способ наиболее эффективен для золотниковых гидрораспределителей большой мощности.

Заключительным этапом синтеза параметров моста является расчет диаметров отверстий шайб балансного и понижающего (при $P_k < P_n$) дросселей на основе осредненных значений коэффициентов расхода $\mu_{др}$, μ_n соответственно. Расчет осуществляется по формулам:

$$d_{ш} = 2\sqrt{G_{др}\sqrt{2/\rho} / 3,14\mu_{др}},$$

$$d_{шп} = 2\sqrt{G_n\sqrt{2/\rho} / 3,14\mu_n},$$

$$G = 2Q_c / \sqrt{P_n - P_k}.$$

4. Расчет параметров ЭГУ и проверка выполнения требований ТЗ. Для ЭГУ-1 и ЭГУ-2 расчет начинается с определения коэффициентов реакций струй K_1 и K_2 , после чего осуществляется проверка на отсутствие перегрузки ЭМП. В частности, для ЭГУ-2 при $i_y = i_{y\text{max}}$ статическое уравнение равновесия сил на якоре ЭМП, приведенное к оси сопел, имеет вид

$$K_{Fi}i_{y\text{max}} = C_{oc}(x_m + h_{осм}) + h_{осм}(C_{ЭМП} + K_2A_c) + K_1A_cP_y^0 = C_{oc}x_m + C_{\Sigma}h_{осм} + K_1A_cP_y^0,$$

где $h_{осм}$ — остаточное смещение заслонки (ошибка позиционирования), необходимое для создания перепада давлений P_d^0 при перемещении золотника на величину x_m . Данный перепад равен

$$P_d^0 = (C_3x_m + F_{mp})A_3^{-1},$$

$$h_{осм} = P_d^0 / K_{ph} = (C_3x_m + F_{mp})C_{пз}^{-1},$$

и уравнение равновесия запишется так:

$$K_{Fi}i_{y\text{max}} = C_{oc}x_m + h_{осм}(C_{\Sigma} + K_1A_cK_{ph}) = C_{oc}x_m + (C_{ЭМП} + C_{oc} + C_{зг})(C_3x_m + F_{mp})C_{пз}^{-1} = R_n.$$

Если это уравнение справедливо, т.е. $K_{Fi}i_{y\text{max}} = R_n$, то мощность ЭМП достаточна для перемещения золотника на величину x_m при токе управления $i_{y\text{max}}$. Условие недостаточности мощности выглядит следующим образом: $R_n > K_{Fi}i_{y\text{max}}$. Для снижения R_n проектировщик имеет по существу единственную возможность — уменьшение

жесткости пружин C_{oc} — для ЭГУ-2, $C_{нр}$ — для ЭГУ-1. Частично указанное уменьшение уже заложено в виде коэффициента запаса $K_{зап}$, но в общем случае величина последнего может оказаться заниженной.

Оценка динамических возможностей ЭГУ осуществляется вначале по предельному случаю. Динамика реального ЭГУ несколько хуже. Наиболее сложный вариант соответствует условиям $w_{nn} > 1,73w_{ЭГУ}$ и $w_3 > 1,73w_{ЭГУ}$, т.е. динамические требования не выполняются даже в идеальном случае. Здесь следует уменьшать постоянную времени $T_{ЭГУ}$, что практически осуществимо за счет увеличения Q_c (если выполняется условие $Q_c < Q_{сдоп}$) до предельно допустимого значения $Q_{сдоп}$. Однако даже такого увеличения может оказаться недостаточно, т.е. в рамках существующего ТЗ реализация ЭГУ невозможна. Необходимо принимать компромиссное решение либо увеличивая $Q_{сдоп}$, либо сокращая значения w_{nn} и W_3 .

И, наконец, вполне возможен вариант, когда динамические свойства ЭГУ соответствуют ТЗ по предельному случаю, но для реального ЭГУ не выполняются. Отрицательное влияние L и $K_{пз}$ можно снизить посредством повышения $R_{\text{вых}}$, если такое повышение возможно для имеющегося УСО (есть запас по напряжению u_{ym}). Но больший эффект даст все же увеличение Q_c .

Заключительной стадией расчета параметров ЭГУ является оценка управляющей характеристики, наклон которой характеризуется коэффициентом. Линейность функции $x = F(u_y)$ определяется, в основном, линейностью силовой характеристики ЭМП, которая весьма высока. В общем случае оказывают некоторое влияние также нелинейные эффекты воздействия гидродинамических сил в золотнике и реакции струй жидкости, вытекающей из сопел. Но анализ их выходит за рамки настоящей работы, где рассматриваются только вопросы предварительного проектирования ЭГУ-1 и ЭГУ-2, имеющие, в основном, качественный характер. Управляющая характеристика имеет зону нечувствительности Δu_y , а при знакопеременном законе изменения Δu_y — петлю гистерезиса шириной $2\Delta u_y$. Проблемы снижения Δu_y весьма сложны, поскольку это достигается только путем увеличения параметров противо-ЭДС $K_{ни}$ (следовательно, K_{ph}), в том числе за счет уменьшения $R_{\text{вых}}$. Увеличения K_{ph} можно достичь, оптимизируя параметр относительной проводимости балансного дросселя γ , т.е. в конечном счете уменьшая его. При этом растет Q_c . Задача может быть решена посредством тщательного скоординированного снижения γ и h_0 , но критичность настройки гидроусилителя повышается. Уменьшение же $R_{\text{вых}}$ противоречит требованию обеспечения заданных динамических свойств.

Общий алгоритм проектирования рассматриваемых ЭГУ, предложенный выше, позволяет разработать программу предварительного проектирования с использованием ЭВМ как в пакетном,

так и в диалговом режиме работы с пользователем. Последний из них более предпочтителен, поскольку процесс проектирования ЭГУ достаточно противоречив и часто требуются альтернативные оценки возникающих ситуаций, основанные на опыте и интуиции проектировщика. Решение задачи проектирования, рассматриваемое здесь, носит качественный характер, поскольку основано на линеаризации статических и динамических параметров. Вместе с тем предлагаемый алгоритм может являться базой для разработки более сложных, учитывающих большое число действующих

в ЭГУ факторов, в том числе и нелинейных и позволяющих получить достаточные количественные рекомендации.

ОБ АВТОРЕ

Целищев Владимир Александрович, докторант кафедры прикладной гидромеханики УГАТУ, доцент. Дипл. инженер по гидравлическим машинам (УГАТУ, 1982), канд. техн. наук в области систем приводов (1988). Исследования по электрогидроавтоматике двигательных установок.

УДК 621.43:001.3, 621.43:001.573

ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

А. О. БОРИСОВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей
Тел: (3472) 22 84 05 25 86 52 E-mail: dvs@ugatu.rb.ru

Аннотация: Рассмотрены возможности регулирования двигателя с использованием модели объекта. Приведены структурная схема системы автоматического регулирования, методика формирования модели, алгоритм работы и перечень измеряемых аппаратной частью параметров

Ключевые слова: система автоматического регулирования; регулирование по модели; поршневой двигатель; модель коэффициентов наполнения; определение цикловых расходов воздуха

Совершенство теплового двигателя как многорежимного источника механической энергии определяется степенью инвариантности его показателей к изменениям режима работы, которые рассматриваются в качестве возмущений, снижающих эффективность «настроенного» на определенный режим рабочего процесса. Особенности работы поршневых двигателей выдвигают во главу угла необходимость согласования практически всех регулирующих воздействий с количеством окислителя в рабочей камере, что является функцией бортовой системы автоматического регулирования (САР).

В современных САР ДВС повышение качества регулирования достигается классическим методом — применением комбинированного регулирования [1]. Несмотря на развитую аппаратную часть САР и сложные алгоритмы коррекции, достигаемый эффект совершенно не пропорционален повышению сложности системы. Из множества причин, ограничивающих точность регулирования требуемых соотношений, наиболее существенную роль играет распределенность параметров в газозоудном тракте двигателя и наличие продувки рабочей камеры.

В системах, содержащих элементы с распределенными параметрами, для однозначного описания движения газа необходимо определение начальных и граничных условий. Для установившихся режимов работы ДВС начальные условия роли не играют. Поэтому на этих режимах удается в процессе формирования программы САР установить однозначную зависимость между результатами локального измерения параметров потока

воздуха и, например, цикловыми подачами топлива. Для неустановившихся режимов работы двигателя последовательность цикловых расходов воздуха через его рабочие камеры зависит от предстории явлений в ГВТ и рабочей камере, которая проявляется в виде начальных условий, соответствующих моменту изменения режима работы, и которая не учитывается в современной практике регулирования ДВС. Кроме того, для неустановившихся режимов работы двигателя актуальна задача прогнозирования расхода воздуха, поскольку подача топлива и другие регулирующие воздействия должны быть определены до окончания процесса газообмена. Наличие продувки рабочей камеры создает неопределенность в оценке ее наполнения независимо от способа и качества измерений.

Таким образом, следует признать принципиальную невозможность аппаратными средствами определить количество окислителя в рабочей камере двигателя.

Для подтверждения степени влияния рассмотренных факторов на точность определения наполнения были проведены специальные эксперименты, которые показали, что погрешность определения циклового расхода воздуха, обусловленная только учетом начальных условий, соответствующих изменению режима работы двигателя, может достигать 50%.

Очевидно, по этой же причине разработчиками регулирующей части системы практически не рассматривается проблема синтеза алгоритма работы САР автомобильным двигателем на уровне отдельных циклов, что, очевидно, скрывает основ-