

намикой электромагнитной ее части и влияет на продолжительность  $t_{ц}$  и на цикловую дозу впрыскивания  $Q_{цв}$

$$t_{имп} = t_{ц} + t_{ппо} - t_{ппз}, \quad (20)$$

где:  $t_{имп}$  – длительность электрического управляющего импульса;

$t_{ц}$  – продолжительность циклового впрыскивания;

$t_{ппо}$  – длительность переходного процесса открывания;

$t_{ппз}$  – длительность переходного процесса закрытия ЭМФ.

$$Q_{ц} = \mu_{ф} \cdot f_{ф} \cdot \sqrt{2/\rho} \cdot \sqrt{p_{ср}} \cdot t_{ц}, \quad (21)$$

где:  $\mu_{ф} \cdot f_{ф}$  – площадь эффективного сечения дозирующего отверстие ЭМФ;

$p_{ср}$  – средний перепад давления на дозирующем отверстии;

$\rho$  – плотность топлива.

### Выводы

Разработаны теоретические основы расчета и проектирования ЭМФ, алгоритмы диагностирования бензинового двигателя, аппаратурная и алгоритмическая поддержка системы управления процессами топливоподачи.

### Литература

1. Ерохов В.И. Системы впрыскивания бензиновых двигателей. Учебное пособие . 2005 г. - Горячая линия. -365 стр.
2. Черняк Б.Я. Автоматическое регулирование и управление процессами двигателей внутреннего сгорания, ч. III. МАДИ, - М., 1994.
3. Казаков Л.А. Электромагнитные устройства РЭА. Справочник.- М. Радио.1991.
4. Электротехнический справочник / Под ред. П.Г. Грудинского, М.Г. Чиликина (глав. ред.) и др. - Т.1. - М.: Энергия, 1971. - 880 с.
5. Куске Е.Я. Применение расчетных методов к анализу динамики затвора клапана в форсунках электронно-управляемых систем бензиновых двигателей. Журнал «Двигателестроение» - № 9, 1985. 28-31 с.

### **Совершенствование лазерно-искровой системы зажигания транспортного двигателя**

д.т.н., проф. Ерохов В.И., Ревонченков А.М.  
МГТУ «МАМИ»

Повышение топливной экономичности и снижение вредных выбросов транспортного двигателя зависит от совершенства систем топливоподачи и зажигания. Целью настоящей работы является повышение надёжности воспламенения обедненных ГС и создание адаптивной системы управления лазерно-искровой системой зажигания двигателей с впрыскиванием газового топлива. Задачей данной работы является исследование параметров лазерно-искровой системы зажигания двигателя внутреннего сгорания с более высокими энергетическими характеристиками воспламенения горючей смеси, а также в связи с этим снижение расхода топлива и уменьшение токсичности ОГ.

Нижний предел воспламеняемости для метана соответствует обеднению с  $\alpha = 1,90$ . При обеднении горючей смеси, приближающемся к предельному  $\alpha$ , наблюдается неустойчивая работа ДВС из-за пропусков воспламенения в случае применения традиционной искровой системы зажигания, так как энергия воспламенения горючей находится в диапазоне: 0,05...15 Дж, а искровая система зажигания обеспечивает только нижний предел по энергии.

Подача дополнительной электромагнитной энергии в область искрового зазора свечи

зажигания повышает вероятность соударения активных молекул в единицу времени, поэтому скорость протекания химической реакции возрастает. Возрастает и тепловыделение. В анализе принят цепной механизм протекания реакций взаимодействия водорода горючей смеси с кислородом. Характерной особенностью цепных реакций является присутствие в течение всего процесса свободных радикалов (активных центров). Активные центры, постоянно исчезая и восстанавливаясь в ходе промежуточных реакций, приводят к тому, что суммарная реакция, если достаточно начальной энергии удержания активных центров, может протекать более интенсивно. Скорость изменения концентрации активных центров представлена соотношением:

$$dN / dt = [N_0 - (m - \alpha) \cdot N] \cdot \lambda_{\text{л}}, \quad (1)$$

где:  $N_0$  – концентрация реакции зарождения активных центров;

$N$  – концентрация реакции исчезающих активных центров;

$m$  и  $\alpha$  – соответственно коэффициенты обрыва и разветвления цепей,

$\lambda_{\text{л}}$  – коэффициент лазерного излучения системы.

Применение лазерного подогрева обеспечивает масштабное увеличение активных центров. Если скорость реакции зарождения новых активных центров  $N_0$  в течение реакции изменяется слабо, то определяющую роль в развитии процесса играют реакции разветвления и обрыва цепей. В случае низких температур разность  $\varphi$  равная  $\varphi = (\alpha - m)$  отрицательна и концентрация активных центров стремится к пределу. Решение системы (1) в этом случае дает:

$$N = [N_0 / (m - \alpha)]. \quad (2)$$

При этом  $dN/dt \rightarrow 0$ , т.е. процесс носит стационарный характер. По мере увеличения температуры реакции разветвления начинают преобладать над реакциями обрыва. Величина  $\varphi$  изменяет знак. Изменение концентрации активных центров будет описываться следующим соотношением:

$$N_a = [N_0 / (m - \alpha) \cdot (e^{\varphi t} - 1)], \quad (3)$$

где:  $\varphi$  – коэффициент концентрации активных центров;

$e$  – основание натуральных логарифмов.

В случае горения углеводородных топлив в качестве активных центров выступают атомы Н и О и гидроксильный радикал ОН, а в качестве источников реакций зарождения активных центров выступают молекулы  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ .

Плотность  $dN_a/N_a$  активных центров в общем виде может быть представлена функцией времени

$$dN_a / N_a = n \cdot \rho \cdot dt, \quad (4)$$

где:  $dN_a$  – концентрация активных центров исходного вещества, вступающих в реакцию за время  $dt$ ;

$n$  – коэффициент пропорциональности;

$\rho$  – относительная плотность активных центров за время  $dt$ .

В экспериментальном макете ДВС с впрыском газового топлива установлена ЛИС с полупроводниковым лазером отечественного производства. Сфокусированный луч лазера через окно из сапфира направляется в область искрового зазора свечи. Формирование импульсов накачки п/п лазера осуществляется схемой с интегральным таймером типа LM 555. Частота и скважность импульсов определяется времязадающими RC цепями, а синхронизация таймера осуществляется от ДПКВ через согласующее устройство СУ. Сформированные интегральным таймером импульсы поступают в усилитель импульсов накачки и далее в п/п лазер. Ориентировочно период колебаний таймера может быть определен по следующей зависимости:

$$T = R \cdot C \cdot \ln[1 + 2R_1 \cdot R_2], \quad (5)$$

где:  $R, R_1, R_2$  и  $C$  времязадающие элементы таймера.

Для надёжного воспламенения обеднённой, а также для обогащённой горючей смеси необходим подвод большего количества энергии.

$$E_b = B \cdot e^{Ar}, \quad (6)$$

где:  $E_b$  – энергия воспламенения;

$B$  – коэффициент, соответствующий начальному значению энергии воспламенения;

$A$  – коэффициент пропорциональности, равный тангенсу угла прямой энерговыделения;

$r$  – радиус сферы воспламенения.

Для увеличения энергии воспламенения (6) целесообразно повышать начальную энергию и радиус сферы воспламенения. Для повышения подводимой энергии к рабочей смеси необходимо увеличивать высокое напряжение на электродах свечи. Конструктивно предельная величина этого напряжения составляет 80 кВ.

Передача энергии лазерного излучения ГС осуществляется посредством молекулярного поглощения. Различные компоненты ГС имеют характерные для них полосы поглощения. Для ориентировочной оценки необходимой величины интенсивности излучения возможно применить закон Бугера:

$$I_1 = I_0 \cdot \exp(-\alpha_n \cdot L), \quad (7)$$

где:  $I_1$  и  $I_0$  – интенсивности прошедшего через участок ГС и первоначального излучения;

$L$  – длина пути распространения излучения в ГС;

$\alpha_n$  – интегральный коэффициент поглощения компонентами ГС.

Минимально необходимая энергия воспламенения рабочей смеси выбирается из необходимости нагрева газовой смеси до её температуры горения.

$$\int_0^T P(t) dt = C_p \cdot \rho_{см} \cdot (T - T_0) \cdot (3 \cdot \delta_{пл})^3 \cdot k_{пр}, \quad (8)$$

где:  $P(t)$  – мгновенная мощность излучения,

$r$  – полная длительность импульса излучения,

$\delta_{пл}$  – ширина зоны пламени,

$\rho_{см}$  – плотность горючей смеси,

$C_p$  – теплоёмкость при постоянном давлении,

$(T - T_0)$  – превышение температуры смеси над температурой стенки КС,

$k_{пр}$  – коэффициент эффективности преобразования рабочей энергии.

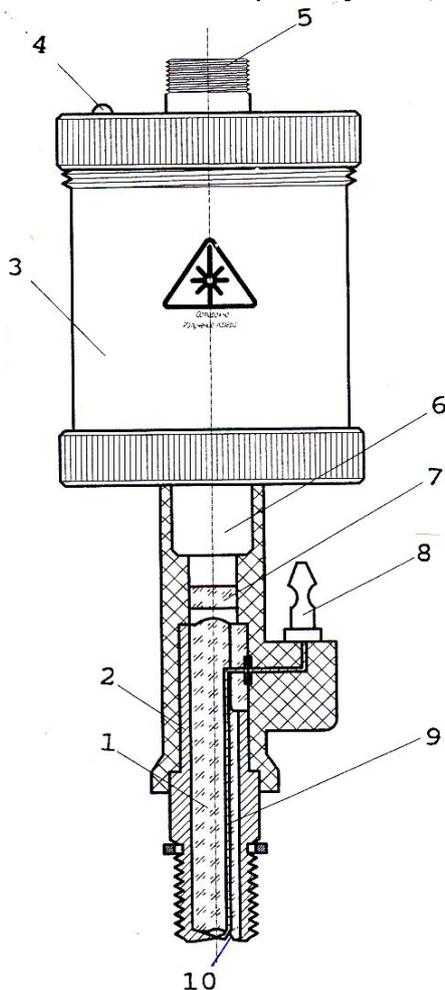
Принципиальная схема лазерно-искровой свечи зажигания приведена на рис. 1. Свеча зажигания содержит корпус 3 блока, разъем 5, светодиод 4, лазерный модуль 6, фильтр 7, фокусирующую линзу 1, корпус свечи 2, искровой промежуток 10, высоковольтную клемму 8, проводник 9 центрального электрода. Линза 1 формирует необходимую траекторию луча в КС.

При формировании активной зоны в камере сгорания необходимо учитывать плотность рабочей смеси, интенсивность (мощность) лазерного излучения, размер фокального пятна, длину волны лазера, траекторию движения лазерного луча, температуру воспламенения смеси и степень сжатия.

Разработана и реализована система зажигания современных ДВС, основанная на лазерном принципе их работы. Сущность решения обусловлена наличием избыточной электромагнитной энергии, обеспечивающей переход от медленного протекания химических реакций к интенсивным. Подогрев смеси в межэлектродном пространстве обеспечивает устойчивое искрообразование при низкой величине напряжения 10...15 кВ.

Расчёт лазерной системы зажигания сводится к определению необходимой мощности лазерного источника и длины волны излучения, обеспечивающей максимальное поглощение

в ГС. Энергия лазерного импульса должна быть достаточной для успешного воспламенения горючей смеси с  $\alpha = 1,4 \dots 1,6$  на всех режимах работы двигателя. Максимальное поглощение излучения в ГС наблюдается на длинах волн в промежутке  $1,2 \dots 10,6$  мкм.



**Рис. 1. Лазерно-искровая свеча зажигания.**

Потребляемая мощность лазерной системы оставляет  $300 \dots 500$  Вт. Длина волны около  $2$  мкм. Длительность импульсов регулируется в пределах  $0,1 \dots 10$  мс. Межэлектродный зазор лазерной свечи составляет  $3 \dots 5$  мм, что существенно выше традиционного. Подогрев рабочей смеси в межэлектродном пространстве обеспечивает устойчивое искрообразование при относительно низкой величине напряжения  $10 \dots 15$  кВ.

Свечи зажигания выполнены в виде интегрированных модульных конструкций, полностью совместимых по присоединительным размерам с обычными искровыми свечами зажигания. В каждой свече расположен индивидуальный полупроводниковый излучатель с согласованной оптикой.

#### **Выводы**

Обоснована и экспериментально подтверждена методика создания лазерной системы зажигания для двигателя с принудительным воспламенением. Предложенный метод организации воспламенения рабочей смеси обеспечивает увеличение индикаторного КПД на  $5 \dots 6\%$ , снижение удельного расхода топлива на  $6 \dots 8\%$  и суммарной токсичности ОГ на  $20 \dots 25\%$ .

Разработана энергетическая модель лазерно-искровой системы зажигания. Подача дополнительной электромагнитной энергии в область искрового зазора свечи зажигания повышает вероятность соударения активных молекул в единицу времени и увеличивает скорость

протекания химической реакции. Тепловыделение из-за начавшейся химической реакции возрастает. Потребляемая мощность лазерной системы составляет 200...500 Вт. Длина волны составляет 2 мкм. Длительность импульсов регулируется в пределах 0,1...10 мс. Применение ЛИС обеспечивает выполнение норм Евро-4.

#### Литература

1. Ерохов В.И. Системы впрыска топлива легковых автомобилей.– М.: Транспорт, 2002. – 174 с.
2. Арапов В.Ф., Кутенёв В.Ф., Шабанов А.В. Влияние некоторых параметров искрообразования на показатели бензинового двигателя. Труды НАМИ, 1984 г.
3. Колубаев Б.Д. Исследование пробивных напряжений свечи зажигания в газовом двигателе // Автомобильная промышленность, 1983, №10, с 10–11.
4. Ерохов В.И., Ревонченков А.М. Феноменологическая модель лазерной системы зажигания. Всероссийская научно-техническая конференция «Современные тенденции развития автомобилестроения в России», г. Тольятти, 2003 г.
5. Reid T., Shewchun T., Garsaid B.K., and Ballet B.H. – Laser Focus, October 1977, p. 45.
6. Способ лазерно-искрового зажигания рабочей смеси двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления. Карунин А.Л., Ерохов В.И., Ревонченков А.М. Патент РФ № 2212559 от 10.06.2002 г.

#### **Особенности выбора основных кинематических параметров механизма передач и поворота (МПП) механических и гидромеханических трансмиссий в режиме прямолинейного движения гусеничной машины**

Кожевников В.С., Кеменов А.В.  
МГТУ «МАМИ»

Независимо от типа трансмиссии проектируемой гусеничной машины для расчета МПП в режиме прямолинейного движения необходимо иметь полный и рабочий диапазоны регулирования скорости, которые равны полному и рабочему диапазонам трансмиссии.

Исходными данными для расчета МПП в режиме прямолинейного движения и при повороте являются: масса проектируемой транспортно-тяговой гусеничной машины и прицепа (полуприцепа), тягово-экономическая характеристика силовой установки, передаточное число бортового редуктора, характеристика потерь мощности в ходовой части и радиус ведущего колеса, а также задаваемые показатели – преодолеваемое максимальное сопротивление движению (максимальный динамический фактор), минимальный радиус поворота, максимальная скорость прямолинейного движения и максимальная угловая скорость поворота.

Расчет МПП включает следующие основные этапы: выбор схемы механизма, определение кинематических параметров и нагрузок.

Схема МПП для проектируемой гусеничной машины выбирается на основе технического задания с учетом достоинств и недостатков каждой схемы.

Полный диапазон регулирования скорости равен отношению максимальной скорости движения машины к ее скорости  $v_1$ , когда имеет место максимальный динамический фактор:

$$D_n = v_{\max} / v_1$$

Рабочий диапазон регулирования скорости также определяется отношением максимальной скорости движения машины к некоторой скорости  $v_2$ . Эта скорость может быть получена из условия движения транспортно-тяговой гусеничной машины в доверительном интервале случайных значений суммарного коэффициента сопротивления движению во всей совокупности дорог и местности. Движение машины в таком интервале зависит от верхней границы интервала.

Поскольку случайные значения коэффициента сопротивления грунта и угла наклона