

*Г.С. Леневский, к.т.н., доцент; Н.В. Спиридонов, асп.
(ГУ ВПО Белорусско-Российский университет в г. Могилёве)*

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В настоящее время широкое распространение получили ёмкостные системы зажигания с полупроводниковыми свечами, обладающими достоинствами, как большая энергия и мощность разрядных импульсов в свечах, практическая независимость от давления окружающей среды, степени загрязнения свечей, имеют высокую воспламеняющую способность и значительный ресурс работы свечей.

Наряду с существующими ёмкостными системами зажигания, в последнее время ведутся разработки плазменных систем, предполагающих использование мощных источников питания.

Следует отметить, что традиционные методы повышения эффективности систем зажигания практически исчерпаны. Актуален поиск новых возможностей совершенствования систем зажигания.

Научный и практический интерес представляет создание новых импульсно-плазменных систем зажигания, сочетающих в себе преимущества ёмкостных и непрерывных плазменных систем.

В последние годы, в связи с развитием информационных технологий, стали эффективны новые подходы к проектированию и оценке эффективности разрабатываемых систем зажигания на основе компьютерного моделирования. Новые методы позволяют расширить возможности математических моделей, позволяя получить более достоверные результаты, а также учитывать большее количество факторов и переменных.

Таким образом, проведение исследований, направленных на разработку новых систем зажигания, основанных на неиспользуемых возможностях повышения эффективности, внедрение информационных технологий в процесс разработки, исследования систем зажигания и создание достоверных методик оценки их эффективности, в настоящее время продолжает оставаться актуальным.

Улучшение топливно-экономических и экологических показателей работы бензиновых двигателей достигается в основном за счет обеднения топливовоздушной смеси. Однако при сильном обеднении двигатель начинает работать с перебоями, а его экономичность резко ухудшается, что недопустимо при перевозке грузов. Решение проблемы устойчивого горения бедной смеси достигается в конструктивном плане по-разному, но имеется три основных



направления:

1) изменение конструкции двигателя с целью получения оптимальных параметров движения воздуха, топливовоздушной смеси, отработавших газов, улучшения смесеобразования и т. д.;

2) усовершенствование топливоподающей аппаратуры (карбюратор – впрыск во впускной коллектор – впрыск в камеру сгорания);

3) усовершенствование системы зажигания, и в частности, интенсификация искрового разряда.

Во время грузоперевозок, каждый искровой разряд начинается с пробоя искрового промежутка на свече, за которым следует дуговой разряд (емкостная составляющая искры), а затем – тлеющий разряд (индуктивная составляющая, или «хвост» искры). В системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности большая доля подводимой к разряднику энергии приходится на «хвост» искры. Продолжительность этой фазы составляет 2-4 миллисекунды и более, поэтому тепловые потери на электродах играют значительную роль, а КПД подвода энергии в плазму искры небольшой. В системах зажигания с накоплением энергии в емкости, благодаря заряду конденсатора до 300-400 В, энергия подводится к свече менее чем за 100 микросекунд, до 75 % ее переходит в плазму искры и значительно меньше идет на нагрев электродов свечи.

Поэтому конденсаторные системы зажигания обеспечивают более быстрое протекание начальной фазы горения бедных смесей при той же подводимой энергии – примерно 30 мДж. Плазменные системы зажигания оборудуются специальными разрядниками, пока еще не выпускаемыми массово, которые имеют энергию единичного разряда не менее 300 мДж. Благодаря большому количеству энергии и созданию плазмы не только в канале искры, а и в большем объеме смеси, находящейся между электродами разрядника, – плазменные системы зажигания обеспечивают начало устойчивого горения очень бедных смесей.

Напряжённость поля в зазоре определяется формой электродов. Чем они острее – тем больше напряжённость поля в зазоре и легче пробой (как у иридиевых и платиновых свечей с тонким центральным электродом).

Пробиваемость зазора зависит от плотности газа в зазоре. В нашем случае – от плотности воздушно-бензиновой смеси. Чем она больше – тем сложнее пробить. Пробивное напряжение газового промежутка с однородным и слабо неоднородным электрическим полем зависит как от расстояния между электродами, так и от давления и температуры газа. Эта зависимость определяется законом Пашена, согласно которому пробивное напряжение газового промежутка с однородным и слабо неоднородным электрическим полем определяется произведением относительной плотности газа δ на расстояние h между электродами, $U_{пр} = U_{пр}(\delta \cdot h)$. Относительной плотностью газа называют отношение плотности газа в данных условиях к плотности газа при нормальных условиях (20 °С, 760 мм рт. ст.).

Зазор свечей не является константой, один раз заданной. Он может и должен подстраиваться под конкретную ситуацию эксплуатации двигателя.



Классическая конструкция свечи предполагает один центральный электрод и один боковой. Однако некоторое время назад производители начали изготавливать двух-, трех- и даже четырёхэлектродные модели. На рисунке 1 представлен фронт распространения пламени в многоэлектродной свече. Искрообразование становится устойчивее, обуславливая более стабильную работу двигателя в режиме малых оборотов, улучшается процесс поджига смеси и, наконец, увеличивается срок службы самого изделия.

На одноэлектродных свечах боковой электрод перекрывает загорающееся топливо и за счет этого смесь сгорает хуже и медленнее. В многоэлектродных факел воспламеняется точно по центру искры и его ничто не прикрывает. Также по мере возникновения нагара искра перепрыгивает на более чистый электрод, что естественным образом продлевает срок работы такой свечи.



Рисунок 1. – Фронт распространения пламени в многоэлектродной свече зажигания.

Малый диаметр центрального электрода свечи и скошенные края бокового электрода позволяют получить мощную искру (высокая плотность заряда на кончике электрода), так как требуется меньшее напряжение для пробоя межэлектродного промежутка, и также значительно улучшается процесс воспламенения, поскольку снижается подавляющее влияние самих электродов на распространение фронта пламени в камере сгорания.

Низкотемпературная плазма является мощным инициирующим фактором, который позволяет значительно ускорить протекание физико-химических процессов воспламенения и горения топливовоздушной смеси. Помимо теплового воздействия, плазменный факел ускоряет реакции окисления за счет инициирования достаточно большого количества активных центров – заряженных частиц, атомов, радикалов.

Одним из способов для генерации плазмы в объёме является использование СВЧ-разряда. Такой разряд является одним из наиболее дешевых методов получения и нагрева плазмы. В качестве источника СВЧ-энергии предполагается использовать магнетрон мощностью ~ 1 кВт с частотой 2,45 ГГц. На рисунке 3 показана напряжённость электрического поля магнетрона, необходимая для зажигания и поддержания разряда как функция давления при отсутствии магнитного поля [1]. Опыт подобных экспериментов показывает [2], что мощность магнетрона может оказаться недостаточной для зажигания разряда в объёме, но при наличии магнитного поля пороговое значение может существенно снизиться за счёт электронно-циклотронного резонанса (ЭЦР). При частоте СВЧ-поля 2,45 ГГц ЭЦР будет наблюдаться при $H = 800$ Э. На рисунке 2 показано, что для поддержания разряда требуется меньшее значение

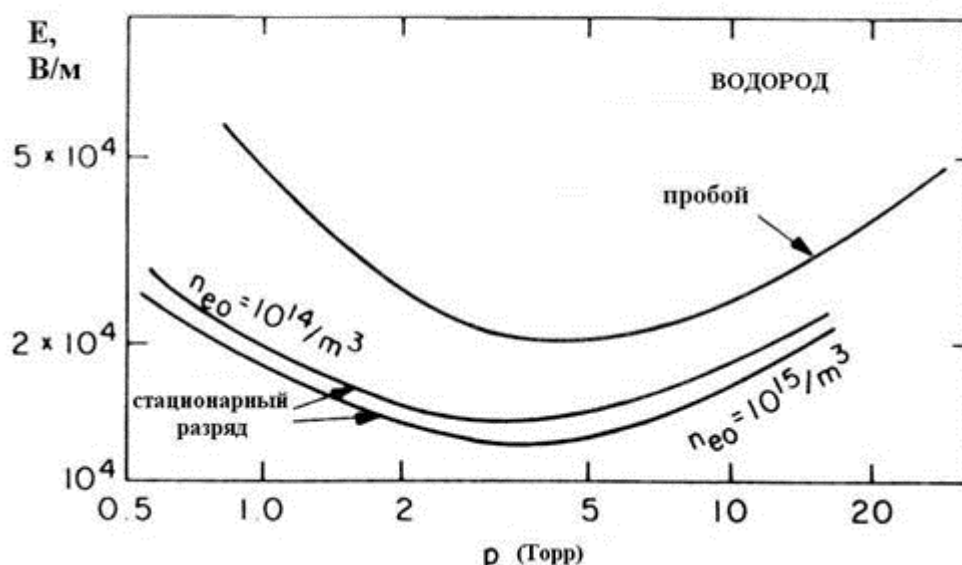


Рисунок 2 – Электрическое поле, необходимое для зажигания и поддержания разряда как функция давления.

Существует множество видов электрических разрядов в газах в зависимости от характера приложенного поля (постоянное электрическое поле, переменное, импульсное, ВЧ, СВЧ), от давления газа, формы и расположения электродов и т. п.

Пробой газа начинается от случайных или искусственно впрыскиваемых нач. электронов, которые набирают в электрическом поле энергию, а затем теряют её на возбуждение и ионизацию атомов. В результате ионизации вместо одного энергичного электрона появляются два медленных, они снова набирают энергию и т. д. - развивается лавина электронная. За $10^{-7}..10^{-3}$ с ток вырастает на несколько порядков.

Дальнейший ход процесса зависит от ряда условий.

При большом межэлектродном расстоянии образуется однородный светящийся столб (положительный столб разряда), представляющий собой плазму. Плазма тлеющего разряда неравновесная, электронная температура $T_e \approx 1.3 \cdot 10^4 \text{ K}$ значительно больше газовой температуры $T \approx 300..1000 \text{ K}$, степень ионизации плазмы тлеющего разряда низкая, $\approx 10^{-8}..10^{-6}$, в 102-104 раз меньше термодинамической равновесной, отвечающей T_e .

Среди стационарных самостоятельных разрядов в пост. поле наиб. важные и распространённые - тлеющий и дуговой. Они различаются механизмами катодной эмиссии, обеспечивающей возможность протекания пост. тока, поскольку основными носителями тока являются электроны. В тлеющем и тёмном (таунсендовском) разрядах катод холодный. Электроны вырываются из него положит. ионами (и фотонами). В дуговом разряде катод разогревается

сильным током и происходит термоэлектронная эмиссия. В резко неоднородных полях, усиленных около острия, проводов линий электропередачи, возникает коронный разряд, самостоятельный и слаботочный. Среди быстротечных сильноточных разрядов особенно важен искровой разряд. Он возникает обычно при $p \approx 1 \text{ атм.}, d > 1.5 \text{ см}$ и достаточно высоком напряжении, превышающем напряжение зажигания короны, если поле сильно неоднородное. Искровой пробой газа происходит в результате возникновения и быстрого развития тонкого плазменного канала от одного электрода к другому; затем получается, как бы короткое замыкание цепи высокопроводящим искровым каналом. Одна из форм искрового разряда-молния. В коронном и искровом разрядах катодная эмиссия особой роли не играет.

Несущественна роль электродных процессов и в большинстве разрядов в быстропеременных полях. Поэтому разряды можно классифицировать, и не учитывая признаки, связанные с электродными эффектами, а по состоянию плазмы разряда и частоте электрического поля. По характеру ионизации состояния газа можно различать:

- 1) пробой;
- 2) поддержание электрическим полем неравновесной плазмы;
- 3) поддержание равновесной плазмы.

Схема импульсно-плазменной системы зажигания представляет собой раскачку напряжения. Для раскачки напряжения используются транзисторный каскад (импульсный режим), умножители напряжения (генератор Кокрофта-Уолтона) и высоковольтный трансформатор (катушка зажигания). Всего насчитывается 3 звена: транзисторный каскад, умножитель напряжения и импульсный высоковольтный трансформатор (катушка зажигания).

Для питания транзисторов используются выходы управляющего устройства (микроконтроллера) и напряжение с преобразователя напряжения (220 В).

Литература

1. J. Reece Roth Industrial Plasma Engineering. Vol. 1, IOP Publishing Ltd. 1995.
2. Mozjetchkov M. // Rev. Sci. Instrum. Vol.69. № 2, February 1998.

