

**К.В. КОРЫТЧЕНКО**, канд. техн. наук НТУ “ХПИ”,  
**Д.О. ВОЛОНЦЕВИЧ**, д-р. техн. наук, НТУ “ХПИ”,  
**Ю.В. КОВЦУР**, НТУ “ХПИ”

## **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ**

Здійснено аналіз напрямків розвитку автомобільних систем запалювання виходячи з принципу їх роботи. Розглянуті схемні рішення, що застосовуються у системах запалення, з описом радіо елементної бази, що застосовувалась у дослідженнях. Надано дані щодо впливу параметрів систем запалювання з сильно струмовим розрядом на характеристики двигуна.

The analysis of tendency for the motor-car ignition systems development is made taking into account operation principles of the systems. It is considered circuit designs of the ignition systems. Description of radio electronic components of the experimental electrical circuit is presented. Results of influence of the circuit parameters of the ignition system forming a high-current discharge on engine features are given.

Развитие автомобилей первоначально было связано с системой зажигания от магнето, но оно достаточно быстро было вытеснено батарейной (контактной) системой зажигания, которая с различными видоизменениями применяется на современных автомобилях [1]. Компания Robert Bosch еще в 1903 г. запатентовала оригинальное устройство воспламенения [2]. С тех пор системы зажигания претерпели несущественные изменения и совершенствовались в направлении уменьшения стоимости, увеличения ресурса работы и срока эксплуатации. Базовая функциональная схема систем зажигания оставалась неизменной на протяжении последующих 70 лет. В последние годы тенденции развития двигателей внутреннего сгорания связаны с повышением их экономичности, снижением токсичности отработавших газов, уменьшением массы и габаритных размеров, повышением частоты вращения коленчатого вала и степени сжатия. Решение первых двух задач достигается, в том числе, за счет совершенствования систем зажигания.

Одним из способов повышения мощности двигателя является увеличение степени сжатия двигателя. При этом, для зажигания топливовоздушной смеси требуется более мощный искровой разряд, или в таком двигателе необходимо использовать дорогостоящий высокооктановый бензин. С другой стороны, очень обедненные смеси (с уменьшенным количеством топлива в смеси с воздухом), за счет применения которых уменьшается выброс вредных веществ, являются также более тяжело воспламеняемыми, т.е. требуют более мощного разряда [3-6].

Анализ тенденций развития современных систем зажигания позволяет выявить возможные пути совершенствования систем зажигания армейских машин.

**Распространенные системы зажигания.** К распространенным системам относятся батарейные системы зажигания (впервые была разработана Чарльзом Каттерингом [2]) и конденсаторные системы зажигания (рис 1). В батарейной системе накопление энергии осуществляется в магнитном поле с последующим ее выбросом при размыкании контакта S2 в виде высоковольтного импульса на свечу зажигания (рис 1 а). В конденсаторной системе осуществляется накопление электрической энергии в ёмкостном накопителе C1, с последующим её преобразованием в катушке зажигания при замыкании контакта S2 в виде высоковольтного импульса на свечу зажигания (рис 1 б). С развитием электронной техники появились новые альтернативные системы.

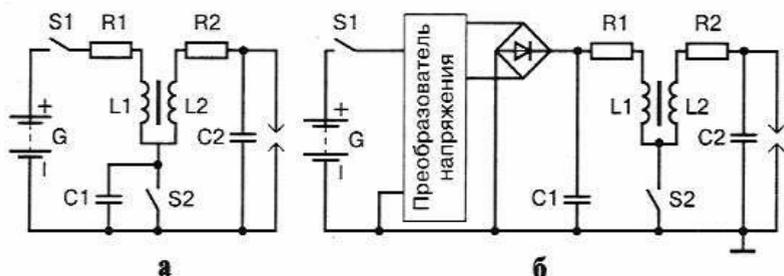


Рис. 1. Схема батарейной (а) и конденсаторной (б) систем зажигания [1]

В настоящее время батарейная система зажигания является наименее дорогой системой и используется в качестве «рабочего эталона» в современной автомобильной промышленности. До момента ужесточения требований к топливной экономичности и сокращению вредных выбросов, применение этой системы полностью обеспечивало основное предназначение системы – надежность зажигания, в большинстве практических приложений.

В батарейной системе процесс развития разряда имеет емкостную и индуктивную фазы. Емкостная фаза длится меньше микросекунды и сопровождается образованием искрового канала. В последующей индуктивной фазе развивается тлеющий разряд с характерно низким разрядным током (около сотни миллиампер) и длительностью в несколько миллисекунд. При этом, основная часть энергии разряда используется не эффективно. Радиус возникающей искры очень маленький, и дальнейшего расширения канала не происходит. Соответственно, свеча зажигания осуществляет воспламенение небольшого объема топливовоздушной смеси. А сгорание топлива в двигателе происходит за счет дальнейшего распространения пламени по цилиндру с нарастающей скоростью.

Как правило, свечи зажигания батарейной системы сохраняют работоспособность более 100000 км пробега, но их характеристики ухудшаются уже через несколько тысяч километров из-за повреждений остроконечных частей электродов, и свечи заменяются.

С ростом частоты вращения коленчатого вала двигателя снижается время накопления энергии в катушке зажигания, что приводит к снижению высоковольтного напряжения, подводимого к свече зажигания, с соответствующим уменьшением энергии разряда (рис. 2).

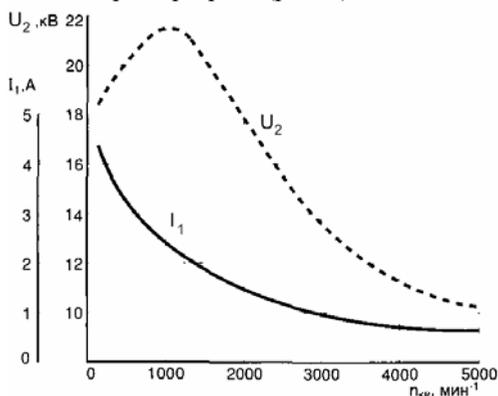


Рис. 2. Зависимость силы тока в первичной обмотке катушки зажигания  $I_1$  и вторичного напряжения  $U_2$  от частоты вращения коленчатого вала  $n_{кр}$  [С.11, 3]

Наращивание количества электродов в свече зажигания, что реализовано, например, в свече фирмы SplitFire®, не позволило увеличить ресурс свечи, а лишь немного улучшило её технические характеристики.

Ёмкостные системы зажигания (CDI – системы) обеспечивают более мощный разряд, чем это реализуется в батарейных системах, с возрастанием доли энергии разряда, выделяемой в искре на стадии пробоя. Для возникающего на свече зажигания искрового разряда является характерными большой ток и длительность до миллисекунды.

Данные системы нашли широкое распространение в последнее время за счет меньшего снижения высоковольтного напряжения, подаваемого на свечу, и высокой стабильности разряда при увеличении оборотов двигателя по сравнению с батарейной системой зажигания.

Ёмкостные системы с интенсивным искровым разрядом и крутым фронтом нарастания напряжения целесообразно применять на двигателях с низким КПД, например, на двухтактных двигателях. Данные системы увеличивают надежность зажигания. С другой стороны, в состав ёмкостных систем входит более дорогостоящая электроника, чем в батарейных системах. Кроме этого, применение таких систем приводит к уменьшению ресурса работы свечей зажигания.

В наиболее распространенных системах зажигания около 10 % исходной энергии преобразуется в слаботочную искру, формируемую на одно-миллиметровом разрядном промежутке (рис. 3).

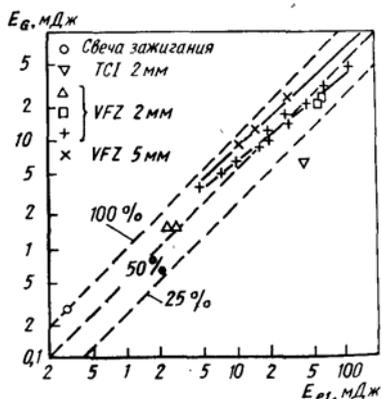


Рис. 3. Зависимость энергии, выделяемой в газоразрядной смеси, от полной энергии разряда батарейных систем зажигания [С. 126, 7]

**Модификации распространенных систем зажигания.** Установлено [8], что небольшая ёмкость, включенная в разрядную цепь параллельно со свечей зажигания, приводит к увеличению доли энергии емкостной фазы разряда, т.е. на стадии пробивания разрядного промежутка, с соответствующим увеличением мощности искрового разряда. Это позволяет улучшить технические характеристики зажигания при незначительном возрастании стоимости системы. Например, свеча Pulse Plug имеет встроенную емкость номиналом  $35 \div 50$  пФ (рис. 4). Также в свечу вмонтирован газоразрядный обостритель фронта импульса напряжения, позволяющий получить перенапряжение на рабочем разрядном промежутке. По данным работы [9], применение такой свечи подняло пиковую мощность разряда с 1,25 Вт на классической свече зажигания до 5,2 МВт на свече Pulse Plug с возрастанием амплитуды тока с 50 мА до 1000 А. При этом, возросла эффективность преобразования энергии в системе зажигания с 1% классической автомобильной системы до 50% с применением данной свечи. Длительность разряда на такой свече составляет  $1 \div 2$  нс. Более эффективный разряд привел к росту объема воспламенения (рис. 5). Тестирование свечи на двигателе показало увеличение экономии топлива на 10% [10]. Отмечается, что необходимо согласование режима работы двигателя со свечей такого типа. Экспериментально установлено увеличение скорости расширения ядра воспламенения на 60% с помощью данной свечи зажигания. Данный эффект поясняется влиянием соотношения напряженности электрического поля в разрядном канале к плотности газа на баланс выделения энергии. В результате создания перенапряжения на газовом промежутке возникает «жесткий» разряд, для которого характерно высокое сопротивление искрового канала. А это позволяет существенно увеличить эффективность преобразования энергии.

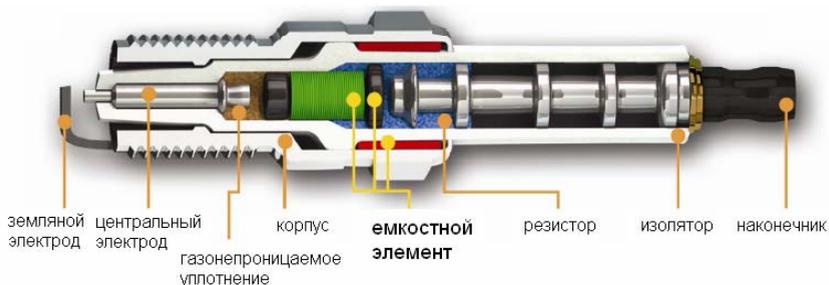


Рис. 4. Схема устройства свечи зажигания Pulse Plug [8]

Тем не менее, при низких нагрузках, где необходимо более мощное зажигание, такая система практически не улучшает характеристики зажигания из-за генерирования более низкого напряжения пробоя. При высоких нагрузках, когда в мощной искре обычно нет необходимости, обостряющая емкость заряжается до высокого напряжения и выделяет бесполезно большое количество энергии. Следует отметить, что данная емкость вызывает быстрый износ электродов из-за большого тока, проходящего через искровой канал.



Рис. 5. Сравнение вида искры, формируемой на обычной свече (слева), с искрой на свече Pulse Plug [8]

**Новые технологии в системах зажигания.** К новой технологии относят системы, реализующие зажигание импульсом постоянного тока (PDCI - системы). Данная технология реализована в системах Adrenaline Research's Smartfire®, Plasma Jets, Railplug техасского университета и KSI. В таких системах первоначально осуществляется высоковольтный разряд, под действием которого происходит замыкание искрового промежутка. При этом, разрядный промежуток также встраивается в контур источника энергии низкого напряжения. Последующий разряд низковольтного мощного источника на разрядном промежутке обеспечивает увеличение разрядного тока.

В таких системах отсутствуют технические ограничения по выделяемой энергии на промежутке, какие имеют место в системах, использующих трансформатор для передачи энергии, из-за ограничений последних в КПД трансформатора и несогласованности с нагрузкой. В работе [11] указывается,

что по сравнению с конденсаторными системами в PDCI-системах продолжительность разряда существенно сокращена, что обеспечивает более точный момент зажигания смеси в двигателе.

В системе зажигания Adrenaline Research's Smartfire® решается задача повышения эффективности выделения энергии на разрядном промежутке за счет согласования импеданса свечи зажигания с импедансом высоковольтного источника. Поэтому, в данной системе используется свеча поверхностного разряда. Полагается [12], что свеча такого типа обеспечивает снижение напряжения пробоя вследствие уменьшения сопротивления разрядного промежутка в период формирования искрового канала и увеличивает мощность энерговыделения в газовом разряде в период развития импульсной дуги из-за возрастания сопротивления разрядного канала. Применяемое схемное решение (рис. 6) ранее использовалось для решения задачи пуска авиационных двигателей, а также в импульсных источниках света. Электрическая цепь, включающая источник питания 1, ёмкость  $C_1$ , электронный ключ  $T_1$  с цепью управления 2 и высоковольтный импульсный трансформатор  $T_p$ , позволяет получить искровой разряд на свече 3. Электрическая цепь, включающая источник питания 4, ёмкость  $C_2$ , диод  $D_1$  и вторичную обмотку импульсного трансформатора, позволяет после замыкания разрядного промежутка на свече 3 развить дугу со слаботочной искры.

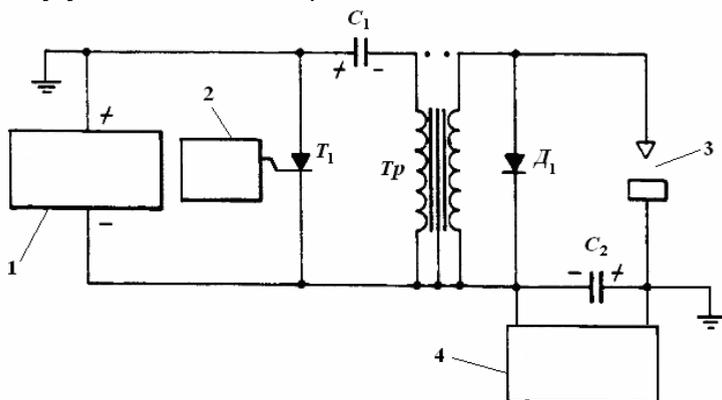


Рис. 6. Схема устройства системы зажигания Adrenaline Research's Smartfire®:  
1, 4 – источники питания, 2 – цепь управления электронным ключом, 3 – свеча поверхностного разряда [12]

Отличительным признаком, позволившем авторам получить приоритет на изобретение, для данной системы является низкое сопротивление контура, соединяющего источник энергии (ёмкость  $C_2$ ) с разрядным промежутком 3. В одном из предлагаемых вариантов устройства системы задача уменьшения сопротивления контура решена введением диода  $D_1$ , что обеспечивает протекание разрядного тока минуя вторичную обмотку импульсного трансформатора.

тора *Tr*. В качестве другого варианта рассматривается схемное решение без диода, но с применением магнитопровода в импульсном трансформаторе, который входит в насыщение на период развития дуги.

Эффективность работы системы зажигания Adrenaline Research's Smartfire® проверялась на V-образном 6-ти цилиндровом инжекторном двигателе Chevrolet объёмом 4,3 л. По результатам исследований получено возрастание КПД двигателя на  $4 \pm 18\%$  в зависимости от соотношения топлива к воздуху в смеси и динамики разряда. На некоторых режимах работы наблюдалось 10-ти кратное уменьшение эмиссии  $\text{NO}_x$ . На всех режимах наблюдалось сокращение выбросов CO не менее, чем на половину. Система обеспечивала надежное зажигание при 3-х кратном отклонении от стехиометрического состава. Отмечается, что при чрезмерном обеднении смеси происходит резкое нарастание выбросов HC.

В опытном образце системы применялись конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  емкостями по 0,47 мкФ, которые заряжались до напряжения 600 В. В качестве электрического ключа использовался тиристор с рабочим напряжением на 1000 В и средним током на 35 А. Коэффициент трансформации импульсного трансформатора равнялся 1:100. Высоковольтный диод был рассчитан на напряжение 40 кВ и 1 ампер разрядного тока.

В работе [11] к недостатку системы относят то, что дуговой разряд вызывает большую локальную эрозию электродов. Поэтому, для снижения этого эффекта требуется уменьшения энергии разряда до значений, которые используют в распространенных системах, или введения повышенной энергии разряда только на непродолжительный период в необходимых случаях. В результате, данная система требует комплексной и дорогостоящей системы контроля. Отмечается, что такая система реализует преимущества систем с параллельной ёмкостью, но при этом увеличивает ресурс работы свечи. Следует добавить, что поверхностный разряд также вызывает быстрое разрушение изолятора. В значительной мере надежность системы снижена из-за применения высоковольтного диода. Также, использование диода приводит к существенному удорожанию системы.

В системе зажигания плазменной струей (Plasma Jet система) разряд создается в полуограниченной полости (рис. 7). То есть, применяется свеча зажигания 1 такой конструкции, в которой центральный электрод 2, «земляной» электрод 3 и изолятор 4 образуют полость 5 [13]. Под действием импульсного разряда происходит ионизация, разогревание газо-плазмы и нарастание давления в разрядной полости с последующим выбросом плазмы через отверстие в полости в виде плазменной струи в камеру сгорания. Данная система работоспособна при существенно повышенном энерговыделении на разрядном промежутке. В приведенном примере пробой промежутка обеспечивается с помощью импульсного трансформатора 7, с распределением импульса по свечам с помощью распределителя 6. Дополнительный подвод энергии обеспечивает емкость С через диоды 8. В

приведенной схеме использован конденсатор номиналом  $C = 0,25 \text{ мкФ}$ , заряжаемый до напряжения 3 кВ. Величина разрядного тока, реализуемая плазмоструйной системой, на несколько порядков выше в сравнении с катушечной системой зажигания (рис. 7).

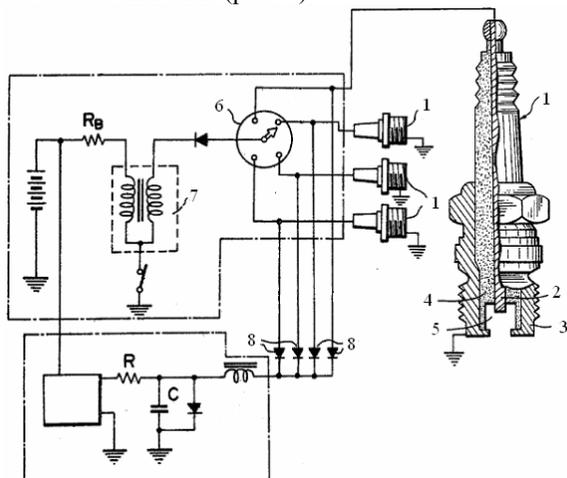


Рис. 7. Устройство плазмоструйной системы зажигания фирмы Nissan Motor [13]

Многочратное увеличение энергии разряда по сравнению с обычными системами позволило с помощью Plasma Jet системы добиться существенного улучшения сгорания. В работе [14] указывается, применение данной системы улучшило работу холодного двигателя. По данным [15], на метано-воздушной смеси устойчивое зажигание реализовано при числе  $\alpha=1,2$ , что не реализуется с помощью конденсаторной системы. Ведутся исследования по оптимизации конструкции плазменной свечи зажигания [16]. В работе [17] показано, что оптимальная энергия разряда, при которой обеспечивается надежное плазмоструйное зажигание и происходит незначительная эрозия электродов, составляет от 50 до 200 мДж.

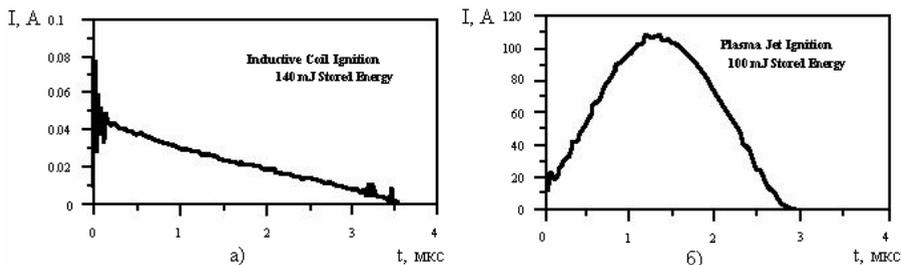


Рис. 8. Сравнение разрядных токов батарейной (а) и плазмоструйной (б) систем зажигания [14]

Выделение большой энергии в разрядной полости сопровождается сильной эрозией электродов с соответствующим уменьшением ресурса свечи. Часть энергии разряда теряется за счет теплопроводности, чему способствует большая площадь контактной поверхности, формируемая между плазмой и разрядной полостью, и возрастание времени теплоотдачи из-за конечной скорости выхода плазменной струи.

Система зажигания фирмы KSI™, при одинаковом вкладе энергии, генерирует «ядро воспламенения», которое значительно превосходит в размере ядро, получаемое в стандартных искровых системах зажигания (рис. 9). А это обеспечивает улучшение показателей двигателя.



Рис. 9. Сравнение разрядов, получаемых стандартной искровой и KSI системами зажигания [11]

В усовершенствованной электрической схеме KSI системы зажигания первоначальный высоковольтный импульс, генерируемый трансформатором, подается на свечу через конденсатор  $C_3$  (рис. 10). Дополнительный подвод энергии обеспечивается через конденсатор  $C_2$ , включаемый в цепь при замыкании ключа  $Q_1$ . Подача импульсов управления на ключ осуществляется после пробоя разрядного промежутка.

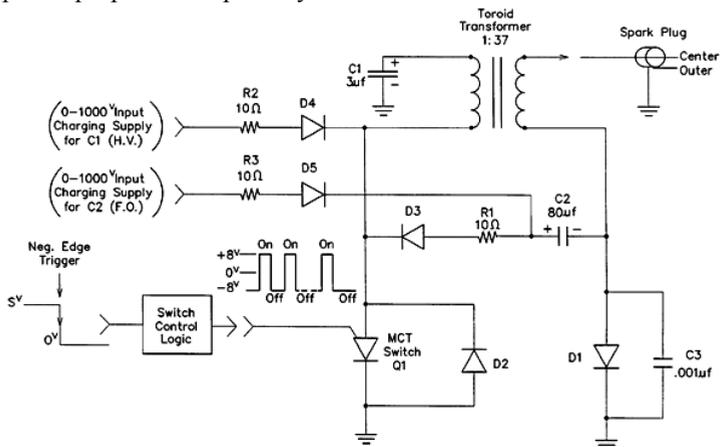


Рис. 10. Усовершенствованная электрическая схема KSI системы зажигания [18]

При дополнительном подводе энергии амплитуда разрядного тока составляет от 3 А до 450 А. Интервал между последовательными импульсами управления на ключе  $Q_1$ , как правило, составляет  $50 \div 10$  мкс. Длительность одного импульса из разрядной серии составляет не более 200 мкс. Оптимальное амплитудное значение напряжения лежит в диапазоне  $300 \div 500$  В.

Применение в KSI системе свечи поверхностного разряда вызвано, по всей видимости, нестабильностью в получении высокого напряжения, достаточного для пробивания воздушного промежутка.

В системе зажигания Railplug [19] разряд осуществляется на рельсотронную свечу зажигания (рис. 11). В свече такого типа после пробоя разрядного промежутка 3 выход плазмы 2 из полости, формируемой двумя параллельными электродами 1 и внутренней поверхностью изолятор 5, возникает под действием силы Лоренца в направлении камеры сгорания 4. Следует отметить, что для получения силы электромагнитного давления, соизмеримого с силами противодействия топливного заряда, необходимо получение больших разрядных токов  $i$ .

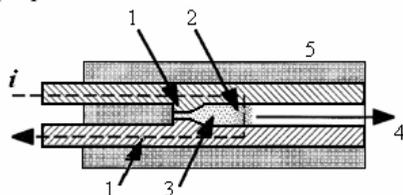


Рис. 11. Принцип работы рельсотронной свечи зажигания [19]

На свече создается разряд, имеющий искровую и дуговую стадии, с помощью электрической схемы (рис. 12). Схема включает контур 1, обеспечивающий пробой на свече 3 с помощью импульсного трансформатора, и контур 2, обеспечивающий переход тлеющего разряда в импульсную дугу с помощью электрической емкости. Момент зажигания соответствовал началу подачи импульса 5 на первичную обмотку трансформатора. В процессе исследований варьировалось напряжение заряда емкости с помощью источника питания 4. Параметры ёмкости конденсатора в контуре 2 использовались в диапазоне  $22 \div 100$  мкФ, напряжение её заряда –  $100 \div 150$  В. Соответственно, запасенная энергия в конденсаторе равнялась –  $0,1 \div 1,1$  Дж. Разрядный промежуток имел длину  $0,5 \div 1,5$  мм. Длина рельсовой части свечи изменялась в диапазоне  $2 \div 10$  мм. Данные по параметрам индуктивности или динамике разрядного тока не приводятся, что не дает получить оценку возникающей силы Лоренца.

В отчете [19] по рельсотронной свече зажигания указывается, что сохранение характеристик зажигания при уменьшении энергии разряда от емкостного накопителя обеспечивается за счет увеличения емкости конденсатора и уменьшения напряжения заряда. Более продолжительная

длительность разряда приводит к увеличению скорости выхода плазмы из такой свечи и на большее расстояние с уменьшением энергии разряда.

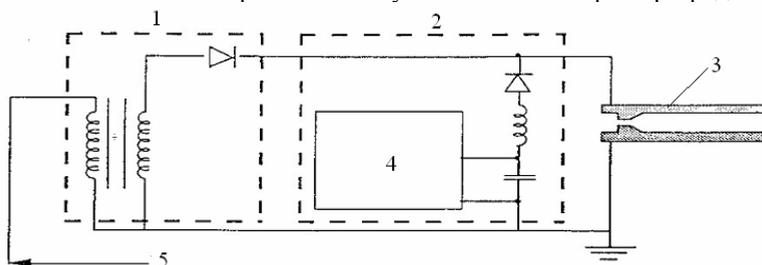


Рис. 12. Электрическая схема системы зажигания Railplug [19]

Техасский университет продвигает систему Railplug как систему, обеспечивающую интенсивную турбулизацию потока в цилиндре двигателя. Известно, что за счет турбулизации достигается полное и плавное сгорание топливовоздушной смеси. Поэтому такая система может быть полезна в случае слабого завихрения заряда. Но в современных двигателях заряд достаточно интенсивно турбулизирован, что делает малоэффективным данную систему зажигания. Эффективность Railplug системы практически соответствует KSI-системе, но требует существенно большей энергии разряда, а продолжительность зажигания ограничивается формой разрядного тока. Результаты тестирования данной системы на двигателе не были найдены. Исходя из оценки энергии разряда, можно положить, что возникающая сила Лоренца пренебрежимо мала по сравнению с силами противодействия. А выход плазмы из полости обеспечивается через возрастание сечения токопроводящего канала дуги. Поэтому, работа систем Railplug и Plasma Jet являются аналогичными форкамерному зажиганию, которое эффективно на малых оборотах двигателя с последующим ухудшением процесса сгорания с ростом оборотов двигателя.

**Системы зажигания лабораторного исполнения.** Радиочастотные системы зажигания (RF-системы) передают электромагнитную волну радиочастотного диапазона в камеру сгорания, создавая в большом объеме высокоэнергетичное зажигание. Например, в системе, предлагаемой в работе [20], разряд реализуется на частоте около 10 МГц. Тем не менее, эффективность такой системы сильно чувствительно к давлению и ненадежно при высоком давлении. RF-системы представляют интерес для исследований, но они являются очень сложными, дорогостоящими, крупногабаритными и чрезмерно энергоёмкими по сравнению с распространенными системами.

В лазерно-индуцированных системах зажигания импульсный мощный лазерный луч фокусируется через оптически-прозрачное окно в камеру сгорания для воспламенения топливовоздушной смеси [21]. Ядро воспламенения может быть создано в любой части камеры сгорания. Но окно должно быть защищено таким образом, чтобы не терялась его прозрачность. Для практиче-

ской реализации, система требует компактного твердотельного лазера с высоким КПД. Существующие лазеры, обеспечивающие воспламенение смеси, имеют крупные габариты, содержат прецизионные элементы, являются хрупкими и имеют КПД в несколько процентов. Все это не позволяет их использовать на автомобиле.

**Выводы.** Развитие автомобильных систем зажигания происходит в направлении увеличения энергии разряда, его стабильности, что связано с требованиями по возрастанию экономичности двигателей и снижению токсичности отработавших газов. При этом, усовершенствование систем зажигания направлено на увеличение как объема воспламенения, так и на турбулизацию пламени в процессе зажигания.

**Список литературы:** 1. *Егоров П.В., Ульянов С.Л.* Электрическое и электронное оборудование современных автотранспортных средств. - РТУиС, МИИЭМ, 2003 электронный ресурс [http://grachev.distudy.ru/Uch\\_kurs/avtoelektrinica/](http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/avtoelektrinica/) 2. Патент США № 1150523 Engine starting device / C.F. Kettering, 17 Aug 1915 – 15с.: ил. 3. *Росс Твег* Системы зажигания легковых автомобилей. Устройство, обслуживание и ремонт. - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 96 с. 4. *Юмма В.А.* Электрооборудование автомобилей. Бесконтактная автомобильная система зажигания. Учебник. – М.: Транспорт, 1995. – 71 с. 5. *Пойда А.Н.* Электронные устройства двигателей внутреннего сгорания. - К.: ИСИО, - 1993. - 88 с. 6. *Мацкерле Ю.* Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешск. В.Б. Иванова; Под ред. А.Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1978. – 320 с. 7. *Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями / Т.У. Асмус, К. Боргнакке, С.К. Кларк и др.; Под ред. Д. Хилларда, Дж. С. Спрингера; Пер. с англ. А.М. Васильева; Под ред. А.В. Кострова.* М.: Машиностроение, 1988. 504 с. 8. *Louis S. Camilli* Pulsed power solution to cafe requirements. White paper - 2007 // интернет-ресурс [www.pulstarplug.com](http://www.pulstarplug.com). 9. *Rohwein G.J.* An Efficient, Power Enhanced Ignition System // IEEE Transactions on Plasma Science, 1997. - Vol. 25, No. 2. – pp. 306-310. 10. Prodrive-Englehard, FTP75 test report, Jan. 2005. 11. Официальный сайт компании Knite incorporation // <http://www.knite.com/> 12. Патент США № 5777216, МПК G01M 15/00. Ignition system with ionization detection/ *Edward Van Duynе, Paule Poreca* (США). – 9 с.: ил. 13. Патент США № 4308488, МПК<sup>3</sup> F02P 3/08. Plasma jet ignition system / *Iwao Imai Yokosuka, Yukitsugu Hirota Yokohama* (Япония). – 7с.: ил. 14. *David Gardiner* Fabrication and Testing of an Enhanced Ignition System to Reduce Cold-Start Emissions in an Ethanol (E85) Light-Truck Engine // Nexum Research Corporation, Thermotech Engineering Division, Subcontract Number ACI-6-16602-01. 15. *P. L. Pitta; R. M. Clements* The Effects of Plasma Jet Ignition on a Methane Fueled Internal Combustion Engine // Combustion Science and Technology, 1983 – Vol. 30 (1). – pp. 327 – 333. 16. *Masaya Ogawa, Hisatoshi Sasaki, Koji Yoshida, Hideo Shoji, Hidenori Tanaka* Propagation processes of newly developed plasma jet igniter // International Journal of Automotive Technology, 2002 – Vol. 3, No. 1. – pp. 9-15. 17. Патент США № 7328677, МПК F02B 23/04. Plasma-jet spark plug and ignition system / *Hagiwara Katsunori, Nagasawa Satoshi, Matutani Wataru* (Япония). – 11с.: ил. 18. Патент США № 07467612, МПК F02P 3/02. Method and apparatus for operating traveling spark ignite at high pressure / *Artur P. Suckewer, Szumon Suckewer, Frederick Selmon* (США). – 12с.: ил. 19. *Ron Matthews* Railplug Ignition System for Enhanced Engine Performance and Reduced Maintenance // The University of Texas, Semi-Annual Technical Progress Report DE-FG26-01NT41334: April 1, 2003 - September 30, 2003. 20. Патент США № 4774914, МПК F02P 15/00, F02P 23/04. Electromagnetic ignition—an ignition system producing a large size and intense capacitive and inductive spark with an intense electromagnetic field feeding the spark / *Ward Michael A. V.* (США) – 25с.: ил. 21. Патент США № 7699033, МПК F02B 1/02. Method and system to distribute high-energy pulses to multiple channels / *Bihari Bipin, Gupta Sreenath Borra, Sekar Ramanujam Raj* (США). – 11с.: ил.

Поступила в редколлегию 07.09.2010 г.