

**На правах рукописи**

**ЛОБАНОВ Андрей Владимирович**

**ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННЫЕ  
СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ  
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Специальность:**

**05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы**

**Автореферат**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Уфа 2009**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на кафедре электрооборудования летательных аппаратов и наземного транспорта.

**Научный руководитель:**

д-р техн. наук, проф.

**Гизатуллин Фарит Абдулганеевич**

**Официальные оппоненты:**

д-р техн. наук, проф.

**Рогинская Любовь Эммануиловна**

канд. техн. наук, доц.

**Конесев Сергей Геннадьевич**

**Ведущее предприятие:**

ФГУП «Уфимское агрегатное  
производственное объединение»

Защита состоится 5 июня 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан ” \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

д-р техн. наук, проф.

**Г.Н. Утляков**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Электрические системы зажигания являются одной из наиболее ответственных частей комплекса электрооборудования двигателей летательных аппаратов. Они используются для воспламенения топливовоздушной смеси при запуске газотурбинных двигателей как на земле, так и в воздухе, и от эффективного действия системы зажигания во многом зависит надежность запуска и работы двигателей.

В настоящее время широкое распространение получили емкостные системы зажигания с полупроводниковыми свечами, обладающие такими достоинствами, как большие энергия и мощность разрядных импульсов в свечах, практическая независимость работы от давления окружающей среды, степени загрязнения свечей, высокая воспламеняющая способность и значительный ресурс работы свечей. Разряд в полупроводниковых свечах емкостных систем зажигания может иметь колебательный или апериодический характер. Системы зажигания апериодического разряда обладают повышенной энергетической эффективностью и широко применяются в зарубежных ГТД.

Значительный рост скоростей и высот полета, увеличение мощности двигателей приводят к усложнению функций, выполняемых летательными аппаратами и ужесточению требований, предъявляемых к силовым установкам, что вызывает необходимость совершенствования электрических систем зажигания и поиска новых решений, направленных на повышение их энергетической эффективности, надежности работы.

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

Вопросы повышения эффективности авиационных систем зажигания освещены во многих работах отечественных и зарубежных авторов. Среди них следует особо выделить труды И.М. Синдеева, В.А. Балагурова, В.П. Ураева, Р.Ш. Вахитова, Ф.А. Гизатуллина, В.Н. Гладченко, Л.И. Алимбекова, О.А. Попова, А.В. Краснова, А.Н. Мурысева, В.Д. Опескина, А. Лефевра, Дж.Р. Фрусса, К.К. Светта и др.

Тем не менее, следует отметить, что традиционные методы повышения эффективности систем зажигания практически исчерпаны. Актуален поиск новых возможностей совершенствования систем зажигания.

В известных работах по исследованию воспламеняющей способности искровых разрядов экспериментально доказано, что при некоторых способах организации процессов стабилизации пламени в камерах сгорания и пусковых воспламенителях ГТД целесообразно снижать мощность разрядов в условиях постоянства энергии разрядов; результаты исследований свидетельствуют о том, что снижение скорости подвода энергии к топливовоздушной смеси в

условиях постоянства общей накопленной энергии при электроискровом способе стабилизации пламени расширяет пусковую характеристику воспламенителей. Возможности повышения эффективности систем зажигания за счет снижения в определенных пределах мощности разрядных импульсов в свечах в настоящее время не используются в полной мере при разработке новых схемотехнических решений систем зажигания.

Снижение мощности разрядных импульсов в свечах при постоянной энергии может быть достигнуто путем изменения соотношения между емкостью и начальным напряжением накопительного конденсатора. При значительном увеличении емкости разрядный процесс может быть однополярным (апериодическим), что также является положительным фактором, влияющим на эффективность систем зажигания.

Научный и практический интерес представляет создание на основе отмеченного эффекта новых импульсно-плазменных систем зажигания, сочетающих в себе преимущества импульсных емкостных и непрерывных плазменных систем.

Моделирование разрядных процессов в системах зажигания осложняется быстротечностью разрядных процессов, наличием в разрядных контурах нелинейных элементов. Известные в настоящее время модели являются достаточно приближенными, основанными на упрощенном представлении характеристик нелинейных элементов.

В последние годы в связи с развитием информационных технологий актуальны новые подходы к проектированию и оценке эффективности разрабатываемых систем зажигания на основе компьютерного моделирования.

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

В соответствии с обозначенной проблематикой сформулированы цель и задачи настоящей работы.

**Цель работы:** Разработка и исследование нового класса импульсно-плазменных систем зажигания газотурбинных двигателей, обладающих повышенной энергетической эффективностью.

**Задачи:**

1. Математическое и компьютерное моделирование разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания.
2. Исследование разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания на основе созданных моделей.

3. Разработка методики оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания на основе результатов моделирования и исследования.

4. Экспериментальное подтверждение адекватности разработанных моделей разрядных процессов.

5. Разработка новых схемотехнических решений на основе результатов моделирования и выполненных исследований.

**Методы исследований.** При выполнении работы для решения поставленных задач использовались методы математического анализа, численные методы математики, осциллографический метод экспериментальных исследований. Моделирование на ЭВМ производилось в программных средах Matlab 6.5, Mathcad 2000 Professional, Mathematica.

**На защиту выносятся:**

1. Схемотехническая и имитационные модели разрядных процессов в системе зажигания нового класса – импульсно-плазменной системе зажигания.

2. Результаты исследований разрядных процессов с помощью разработанных моделей.

3. Методика оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания ГТД.

4. Новые схемотехнические решения перспективных систем зажигания, предложенные на основе исследований базовой схемы.

**Научная новизна:**

1. Впервые исследована и обоснована эффективность нового класса импульсно-плазменных систем зажигания, занимающих промежуточное положение между импульсными искровыми и непрерывными плазменными; разработаны математическая и компьютерные имитационные модели разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания с учётом нелинейных свойств свечи.

2. На основе теоретических и экспериментальных исследований разрядных процессов выявлены возможности повышения энергетической эффективности систем зажигания, отличающиеся от известных, в частности, отрицательным влиянием индуктивности разрядной цепи; установлены закономерности изменения коэффициента использования энергии накопительного конденсатора в функции параметров разрядной цепи, установлено, что коэффициент использования энергии в импульсно-плазменных системах зажигания выше в 4-5 раз по сравнению с импульсными емкостными системами зажигания различных типов и составляет 20÷30 %.

3. На основе результатов моделирования разрядных процессов разработан алгоритм расчета энергетических параметров разрядов по заданным характеристикам разрядной цепи, отличающийся от известных видом аппроксимирующего выражения при учете нелинейности свечи.

### **Практическая значимость:**

1. Разработанные схмотехническая и имитационные модели, подтверждённые экспериментально, позволяют решать задачи исследования, разработки, доводки, оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания без проведения сложных и трудоёмких стендовых испытаний.

2. Новые схмотехнические решения являются основой создания и практического применения нового класса систем зажигания, обладающих повышенной энергетической эффективностью по сравнению с известными системами зажигания при том же уровне потребляемой мощности; разработки защищены четырьмя патентами на полезные модели (Патент РФ № 59159, Патент РФ № 59160, Патент РФ № 62664, Патент РФ № 75433).

3. Получены рекомендации по выбору параметров импульсно-плазменных систем зажигания, обеспечивающие максимальную энергетическую эффективность разрядных цепей.

4. Предложенная методика оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания учитывает нелинейные свойства свечей и позволяет с приемлемой точностью определять основные параметры искровых разрядов в свечах.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований внедрены в учебный процесс в УГАТУ для студентов специальности 140609 “Электрооборудование летательных аппаратов”.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись на следующих научно-технических конференциях:

- Интеллектуальные системы управления и обработки информации. Уфа, 2003.
- От мечты к реальности: научно-техническое творчество создателей авиационной и ракетно-космической техники (к 100-летию со дня рождения С.П. Королёва). Уфа, 2006.
- Наука. Технологии. Инновации. Новосибирск, 2006.
- Актуальные проблемы в науке и технике. Уфа, 2007.

**Публикации по теме диссертации.** По результатам исследований опубликовано 14 печатных работ, из них 4 патента РФ, 10 статей и тезисов докладов, в том числе 1 статья в издании, рекомендованном ВАК Рособнадзора.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения. Основная часть содержит 129 страниц, 54 рисунка, 3 таблицы. Список литературы включает 111 наименований и занимает 12 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** к диссертации обосновывается актуальность решаемых задач, приводятся основные положения и результаты, выносимые на защиту, отмечается их новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проведен анализ состояния проблемы и поставлены научно-технические задачи исследования. Рассматриваются современные емкостные системы зажигания и отмечается достижение пределов совершенствования существующих систем. Обозначается необходимость разработки новых систем зажигания, обладающих преимуществами известных систем и реализующих, в частности, способ повышения воспламеняющей способности за счет снижения мощности разрядов в условиях постоянства энергии емкостного накопителя.

Рассматриваются существующие подходы к учету нелинейных свойств свечей зажигания и отмечаются их недостатки.

Рассмотрены фрагменты существующих математических моделей разрядных процессов в системах зажигания, показано, что они получены при весьма грубых допущениях, анализируются конкретные их недостатки. Отмечены возможности использования информационных технологий, основанных на создании схемотехнических и имитационных компьютерных моделей процессов в системах зажигания.

Проведенный анализ подтвердил актуальность проблемы, позволил обосновать возможность дальнейшего совершенствования систем зажигания ГТД и сформулировать основные задачи работы.

**Во второй главе** разрабатывается базовая схема нового класса импульсно-плазменных систем зажигания, которая должна обладать повышенной эффективностью по сравнению с известными системами зажигания.

Базовая схема нового класса импульсно-плазменных систем зажигания, защищенная патентом РФ, представлена на рис. 1.

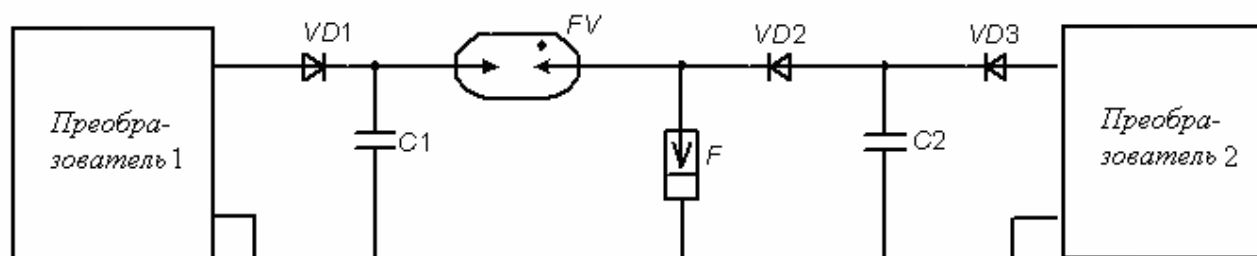


Рисунок 1 – Базовая схема импульсно-плазменной системы зажигания

Основным накопительным конденсатором является  $C2$ , напряжение заряда которого существенно ниже напряжения пробоя свечи зажигания  $F$ .

Зарядно-разрядный контур, образованный элементами  $VD1$ ,  $C1$ ,  $FV$ , является вспомогательным и необходим для предварительного пробоя свечи.

Разработаны схемотехническая и имитационные компьютерные модели разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания. Схемотехническая модель, приведенная на рис. 2, адекватно воспроизводит изменение во времени всех параметров, кроме падения напряжения в свече; модель предназначена для предварительной оценки качества разрядных процессов без определения энергии и мощности разрядов.

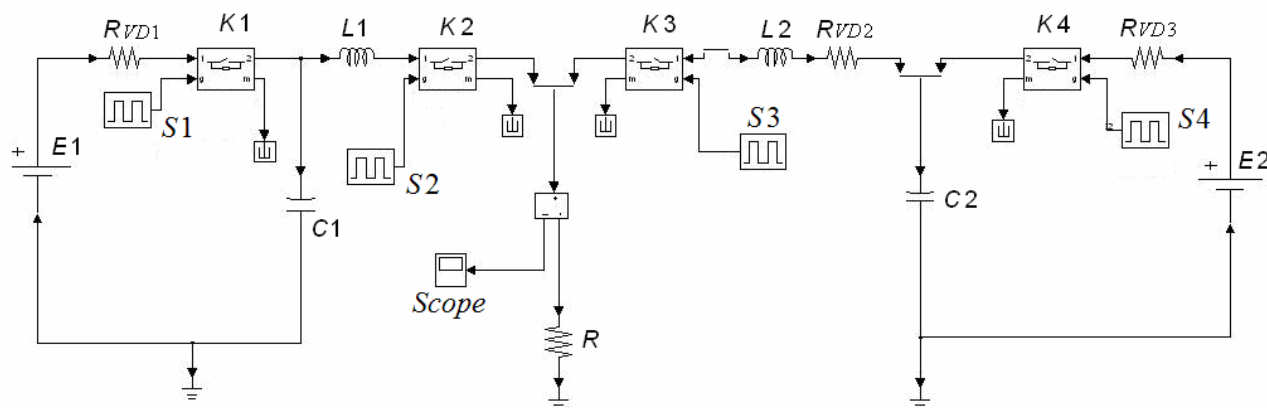


Рисунок 2 – Схемотехническая модель

В ходе схемотехнического и последующего математического и имитационного моделирования приняты следующие основные допущения:

1. Разрядник представлен в виде идеального ключа.
2. Преобразователи представлены эквивалентными источниками ЭДС.
3. Влияние преобразователей на разрядные процессы не учитывается, так как длительность заряда накопительных конденсаторов до момента пробоя разрядника значительно превышает длительность разрядной стадии.
4. Разрядный ток не зависит от изменения активного сопротивления свечи, так как нелинейное сопротивление пробитой свечи существенно меньше суммарного сопротивления разрядной цепи.
5. Нелинейность свечи при математическом и имитационном моделировании учитывается путём аппроксимации реальных зависимостей падения напряжения в свече во времени.

С учётом принятых допущений составлена схема замещения разрядных цепей импульсно-плазменной системы зажигания, представленная на рис. 3.

В соответствии с принятыми допущениями для получения аналитического выражения для разрядного тока свеча представлена линейным резистором, нелинейность свечи учитывается в ходе описания падения напряжения в свече.



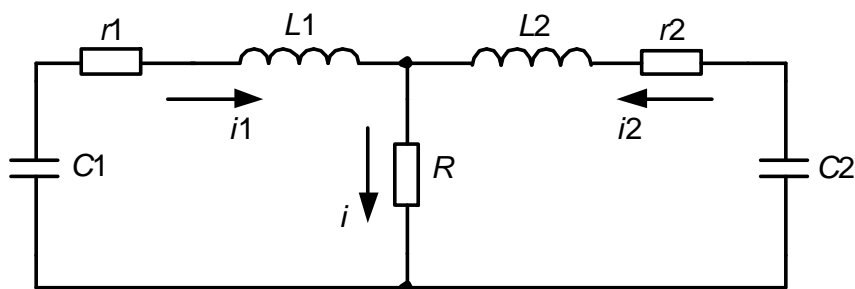


Рисунок 3 – Схема замещения разрядных цепей

Состояние схемы замещения описывается следующей системой уравнений, полученной с учетом принятых допущений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{c1} + i_1 \cdot r_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot R = 0, \\ i_1 = C_1 \cdot \frac{dU_{c1}}{dt}, \\ U_{c2} + i_2 \cdot r_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot R = 0, \\ i_2 = C_2 \cdot \frac{dU_{c2}}{dt}, \\ i = i_1 + i_2. \end{array} \right. \quad (1)$$

Разработаны две имитационные компьютерные модели: имитационная аналитическая модель на основе решения системы уравнений (1) и имитационная модель без получения аналитических решений в явной форме.

Имитационная модель разрядных процессов без получения аналитических решений, приведенная на рис. 4, учитывает нелинейные свойства свечи и позволяет получать временные зависимости для разрядных процессов, определять величины энергии, выделяющейся в свече, длительности разряда, амплитуды разрядного тока, коэффициента использования начальной энергии накопительного конденсатора, а также вольт-амперные характеристики свечи зажигания в широком диапазоне изменения параметров разрядной цепи.

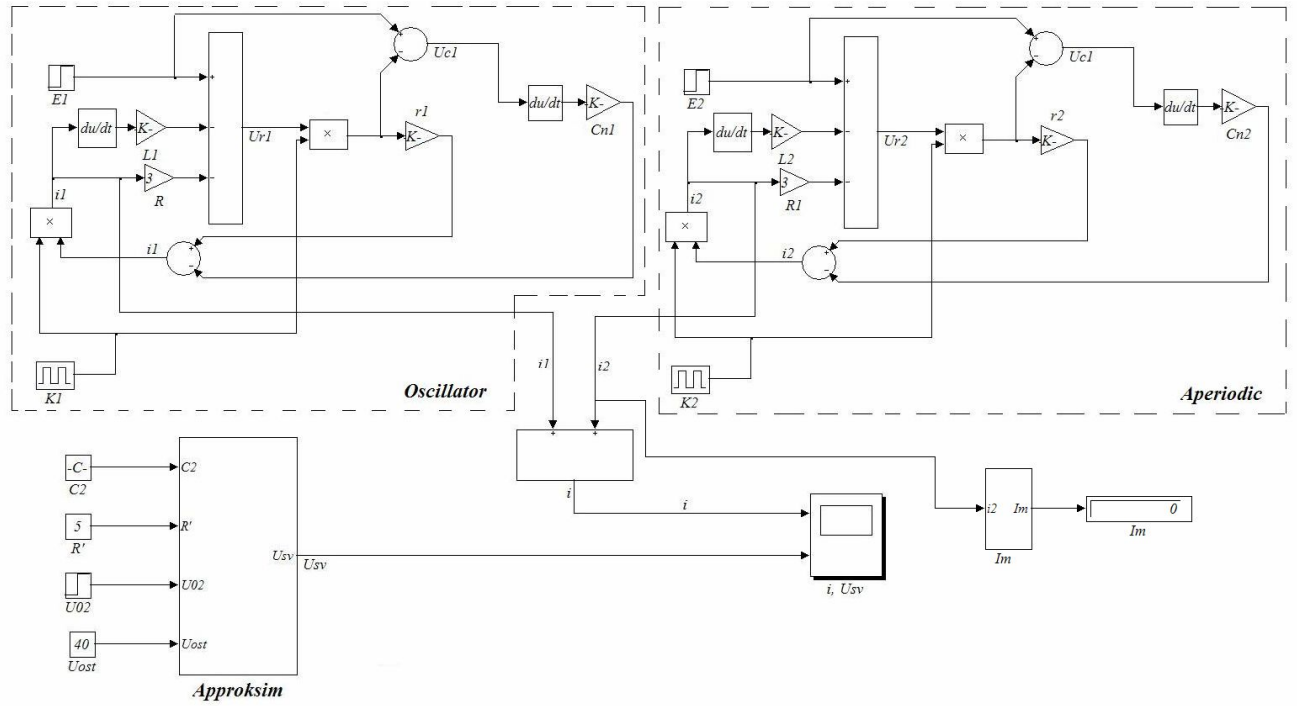


Рисунок 4 – Имитационная модель разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания

В основе имитационной аналитической модели лежат следующие выражения, полученные для схемы замещения разрядных цепей импульсно-плазменной системы зажигания.

Для полного тока разряда получено:

$$i(t) = -I_1 \cdot \exp\left(-\frac{R+r_1}{2L_1} \cdot t\right) \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \frac{(R+r_1)^2}{4L_1^2}} \cdot t\right) - I_2 \cdot \left( \exp\left(\left(-\frac{R+r_2}{2L_2} + \sqrt{\frac{(R+r_2)^2}{4L_2^2} - \frac{1}{L_2 C_2}}\right) t\right) - \exp\left(\left(-\frac{R+r_2}{2L_2} - \sqrt{\frac{(R+r_2)^2}{4L_2^2} - \frac{1}{L_2 C_2}}\right) t\right) \right), \quad (2)$$

где  $I_1, I_2$  – постоянные интегрирования,

$$I_1 = \frac{U_{01}}{\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \frac{(R+r_1)^2}{4L_1^2}} \cdot L_1}, \quad I_2 = \frac{U_{02}}{2\sqrt{\frac{(R+r_2)^2}{4L_2^2} - \frac{1}{L_2 C_2}} \cdot L_2}$$

$U_{01}$  и  $U_{02}$  – начальные напряжения заряда конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ .

Амплитуда разрядного тока основного накопительного конденсатора определяется формулой:

$$I_m = I_2 \cdot \left( \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{p_1}{p_1-p_2}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{p_2}{p_1-p_2}} \right), \quad (3)$$

$$\text{где } p_{1,2} = -\frac{R'}{2 \cdot L_2} \pm \sqrt{\frac{(R')^2}{4 \cdot L_2^2} - \frac{1}{L_2 \cdot C_2}}, \quad R' = R + r_2.$$

Длительность искрового разряда:

$$t_{и} = R' \cdot C_2 \cdot \ln \frac{U_{02}}{U_{ост}}, \quad (4)$$

где  $U_{ост}$  – остаточное напряжение на конденсаторе  $C_2$  после погасания разряда.

В ходе построения имитационных моделей разрядных процессов кривая падения напряжения в свече аппроксимирована следующим выражением:

$$U_{св} = A + B \cdot \left(t - \frac{t_{и}}{2}\right)^2, \quad (5)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты, значения которых определяются на основе экспериментальных данных.

При описании кривой падения напряжения в свече пренебрегается изменением напряжения на свече в момент пробоя, так как разрядный ток при этом близок к нулю и энерговыделение в свече мало.

Выражение для энергии, выделяющейся в свече, получено в виде:

$$\begin{aligned} W_{св} = I_2 \cdot & \left( (\exp(p_1 t_{и}) - 1) \cdot \left( \frac{2B}{p_1^3} + \frac{A}{p_1} + \frac{B t_{и}^2}{4 p_1} \right) + (1 - \exp(p_2 t_{и})) \times \right. \\ & \left. \times \left( \frac{2B}{p_2^3} + \frac{A}{p_2} + \frac{B t_{и}^2}{4 p_2} \right) - (\exp(p_1 t_{и}) + 1) \cdot B \frac{t_{и}}{p_1^2} + (\exp(p_2 t_{и}) + 1) \cdot B \frac{t_{и}}{p_2^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Также получены выражения для определения известных интегральных показателей эффективности искровых разрядов и систем зажигания в целом, являющихся функциями энергетических параметров. В частности, для интегрального показателя эффективности систем зажигания  $K'$  получено:

$$\begin{aligned} K' = \frac{W_{св}}{I_m \cdot t_{и} \cdot f \cdot W_0} = & \frac{2}{C_2 \cdot (U_{02})^2 \left( \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{p_1}{p_1 - p_2}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{p_2}{p_1 - p_2}} \right) t_{и} \cdot f} \cdot \left( (\exp(p_1 t_{и}) - 1) \cdot \left( \frac{2B}{p_1^3} + \frac{A}{p_1} + \frac{B t_{и}^2}{4 p_1} \right) + \right. \\ & \left. + (1 - \exp(p_2 t_{и})) \cdot \left( \frac{2B}{p_2^3} + \frac{A}{p_2} + \frac{B t_{и}^2}{4 p_2} \right) - (\exp(p_1 t_{и}) + 1) \cdot B \frac{t_{и}}{p_1^2} + (\exp(p_2 t_{и}) + 1) \cdot B \frac{t_{и}}{p_2^2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Временные зависимости для параметров разрядных процессов, получаемые с использованием двух разработанных имитационных моделей, практически совпадают.

Приводятся результаты экспериментальных исследований разрядных процессов в целях подтверждения адекватности разработанных моделей на специально разработанном стенде (рис. 5).

В схеме стенда предусматривалась возможность изменения основных параметров разрядных цепей.

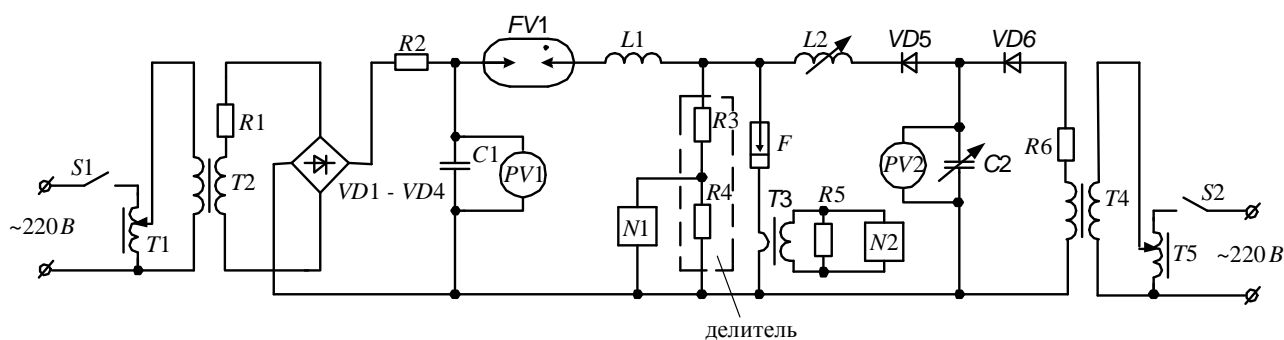
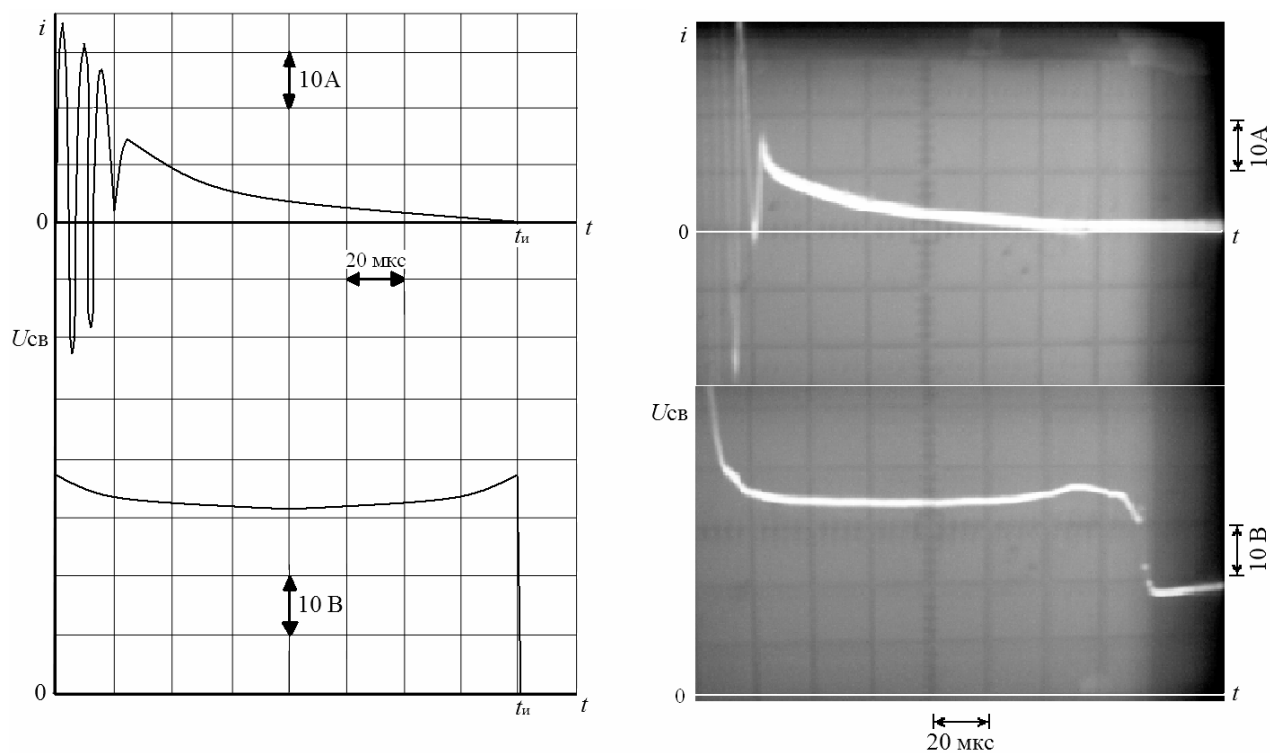


Рисунок 5 – Схема экспериментального стенда

Характерные временные зависимости для разрядного тока и падения напряжения в свече показаны на рис. 6.



а)

б)

Рисунок 6 – Осциллограммы разрядных процессов ( $C_2 = 100$  мкФ,  $L_2 = 20$  мкГн)  
а) теоретические кривые, б) экспериментальные осциллограммы

Экспериментально установлены закономерности изменения основных характеристик искровых разрядов в свечах в функции параметров разрядной цепи. На рис. 7 показаны зависимости энергии  $W_{CB}$  и коэффициента использования энергии накопительного конденсатора  $W'$  от емкости конденсатора, где

$$W' = \frac{W_{CB}}{W_0} 100\%, \quad (8)$$

$$W_0 = \frac{C_2 U_{02}^2}{2} \text{ – начальная энергия конденсатора.}$$

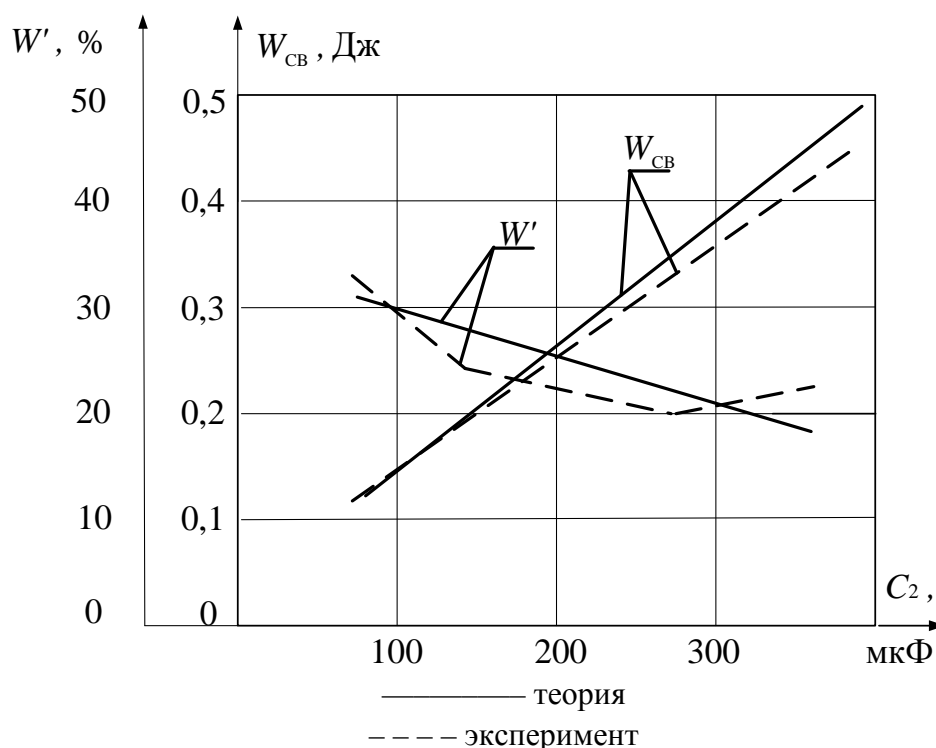


Рисунок 7 – Закономерности разрядных процессов

Характер зависимости  $W' = f(C_2)$  в конечном итоге вытекает из вида вольт-амперной характеристики разряда. Увеличение емкости, а следовательно, и начальной энергии конденсатора приводит к увеличению разрядного тока. В соответствии с вольт-амперной характеристикой разряда активное сопротивление разряда при этом снижается. В результате, несмотря на увеличение энергии разрядов в свече с ростом емкости конденсатора, коэффициент использования энергии уменьшается.

Расхождение между теоретическими кривыми, полученными в ходе имитационного моделирования при параметрах, соответствующих параметрам в экспериментальной схеме, и экспериментальными данными не превышает 15 %.

**В третьей главе** приводятся результаты исследований энергетической эффективности разрядных цепей системы зажигания с использованием разработанных моделей.

Теоретически исследованы следующие зависимости:

- Энергии в свече от индуктивности разрядной цепи  $W_{св} = f(L_2)$ ;
- Энергии разрядов в функции емкости и начального напряжения накопительного конденсатора при постоянстве накопленной энергии  $W_{св} = f(C_2, U_{02})$ ;
- Средней мощности разрядов от емкости накопительного конденсатора  $P_{ср} = f(C_2)$ ;
- Интегрального показателя эффективности от емкости накопительного конденсатора  $K' = f(C_2)$ ;
- Вольт-амперные характеристики разрядов  $U_{св} = f(i)$ .

Зависимости  $W_{св} = f(L_2)$ ,  $W_{св} = f(C_2, U_{02})$  и  $U_{св} = f(i)$  подтверждены экспериментально.

На основе теоретических исследований изменения интегрального показателя эффективности систем зажигания, отвечающего за процесс воспламенения, получены рекомендации по выбору оптимальных параметров цепи, обеспечивающих наилучшую воспламеняющую способность.

На рис. 8 приведены зависимости  $W_{св} = f(C_2, U_{02})$  при различных сочетаниях емкости и начального напряжения накопительного конденсатора. Уровень накопленной энергии при этом сохранялся постоянным и составлял  $W_0 = 1,125$  Дж.

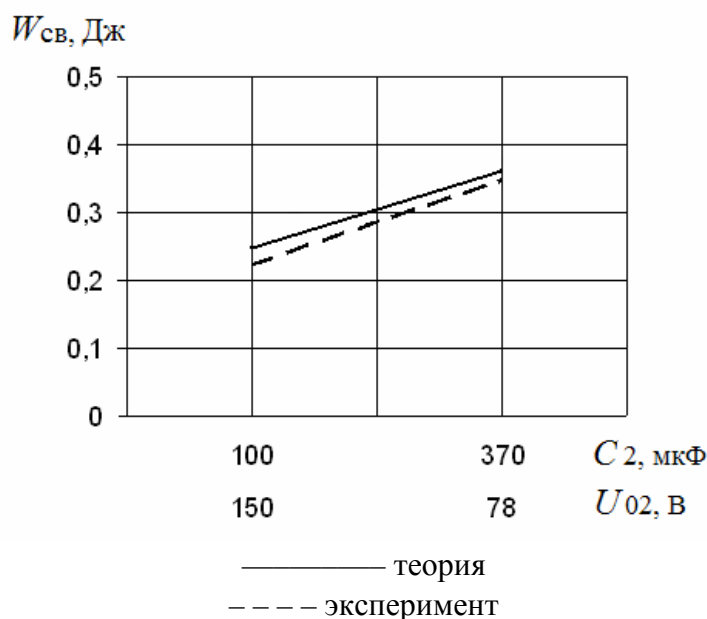


Рисунок 8 – Зависимости  $W_{св} = f(C_2, U_{02})$  при  $L_2 = 80$  мкГн

Результаты исследований, проведенных для разных значений индуктивности разрядной цепи, свидетельствуют о возрастании энергии, выделяющейся в свече, при увеличении емкости накопительного конденсатора при одновременном снижении уровня начального напряжения конденсатора.

Этот результат связан с увеличением длительности искровых разрядов при незначительном снижении амплитуды разрядного тока.

Кроме того, с целью обоснования повышенной эффективности разработанной системы зажигания, в главе проведены сравнительные экспериментальные исследования разрядных процессов в классической импульсной емкостной и импульсно-плазменной системах зажигания при фиксированных уровнях суммарной накопленной энергии.

В результате исследований получено, что коэффициент использования энергии накопительного конденсатора для импульсно-плазменной системы зажигания в 4-5 раз выше, чем для классической емкостной системы зажигания, и составляет 20÷30 %, что объясняется снижением потерь энергии накопительного конденсатора за счет исключения из основной цепи разряда коммутирующего элемента, а также возрастанием активного сопротивления свечи при снижении разрядного тока.

В главе также приводится методика оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания. Основой методики оценки эффективности являются: разработанные модели разрядных процессов, выражения для параметров разрядов и интегральных показателей эффективности искровых разрядов и систем зажигания в целом.

**В четвертой главе** приводятся результаты разработки новых схемотехнических решений систем зажигания на основе проведенных исследований импульсно-плазменной системы зажигания и анализа эффективности двухканальных систем зажигания.

На рис. 9 представлена схема импульсно-плазменной системы зажигания, призванная увеличить энергетическую эффективность системы зажигания за счет повышения коэффициента использования энергии высоковольтного накопительного конденсатора.

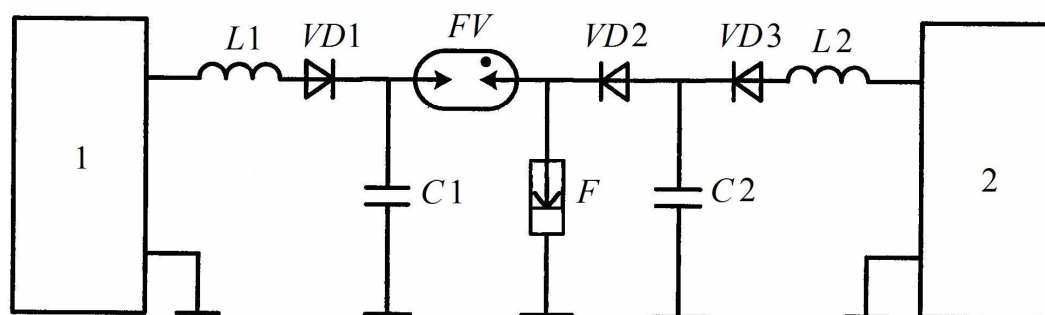


Рисунок 9 – Импульсно-плазменная система зажигания повышенной эффективности (Патент РФ № 75433)

Одно из схемотехнических решений предполагает повышение вольтажа базовой схемы импульсно-плазменной системы зажигания за счет использования высоковольтного трансформатора в цепи разряда

высоковольтного конденсатора (рис. 10). Данное решение позволяет повысить энергетическую эффективность системы зажигания, а также расширить функциональные возможности системы зажигания, так как в качестве свечи могут быть использованы все типы авиационных свечей зажигания.

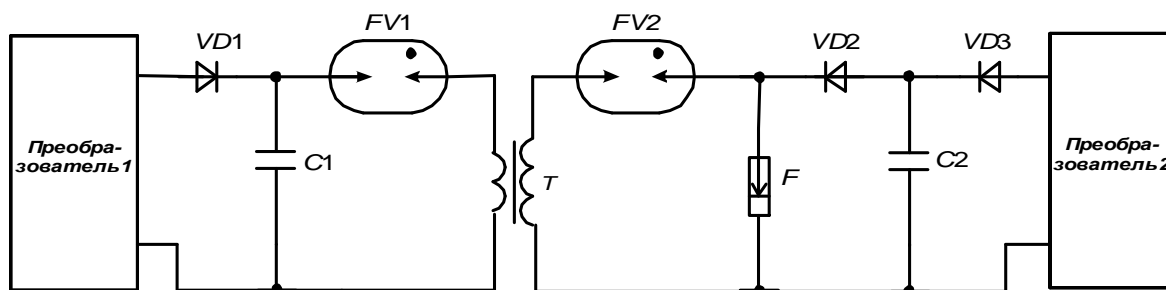


Рисунок 10 – Высоковольтная импульсно-плазменная система зажигания  
(Патент РФ № 62664)

Кроме того, рассмотрен метод увеличения воспламеняющей способности, заключающийся в синхронизации разрядов в свечах в двухканальных системах зажигания и компенсации отказа одной из свечей путём увеличения энергии разряда в другой. Синхронизация разрядов актуальна в случае, когда рабочие торцы свечей в пусковом воспламенителе расположены близко друг к другу. При этом энергии разрядов в свечах суммируются, что позволяет существенно повысить воспламеняющую способность системы зажигания.

На основе указанного принципа усовершенствована система зажигания с синхронизацией разрядов и компенсацией отказа одной из свечей (Патент РФ № 59160). Оригинальная схема синхронизации разрядов в свечах обеспечивает повышенную эффективность работы при меньших массогабаритных показателях.

### Заключение

1. Разработано базовое схемотехническое решение перспективной импульсно-плазменной системы зажигания, занимающей промежуточную нишу между импульсными искровыми и плазменными системами зажигания. Создание нового класса систем зажигания является развитием идей по совершенствованию традиционных емкостных систем, заключающихся в использовании сочетания разрядов разной мощности и длительности, в использовании преимуществ аperiodического разряда.

2. Разработаны математическая и компьютерные схемотехническая и имитационные модели разрядных процессов применительно к новому классу импульсно-плазменных систем зажигания. На основе математического моделирования получены расчетные выражения для определения основных параметров разрядов. Имитационные модели учитывают нелинейные свойства свечей зажигания. Адекватность моделей подтверждена результатами



экспериментальных исследований энергетической эффективности системы зажигания. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными не превышает 15 %.

3. На основе разработанных имитационных моделей разрядных процессов проведены исследования энергетической эффективности систем зажигания. Установлены закономерности изменения коэффициента использования энергии накопительного конденсатора в функции параметров разрядной цепи, показано, что коэффициент использования энергии накопительного конденсатора в импульсно-плазменных системах зажигания выше в 4-5 раз по сравнению с импульсными емкостными системами зажигания различных типов и составляет 20÷30 %. Установлено, что увеличение индуктивности разрядной цепи влияет отрицательно на энергетическую эффективность импульсно-плазменных систем зажигания по сравнению с традиционными емкостными системами зажигания. Установлено, что для повышения энергии, выделяющейся в свече, необходимо увеличивать в определенных пределах емкость накопительного конденсатора при одновременном снижении уровня начального напряжения конденсатора в условиях постоянства накопленной энергии.

4. Предложена методика оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания, позволяющая определять основные энергетические параметры искровых разрядов. Основой методики оценки эффективности являются: разработанные модели разрядных процессов, выражения для параметров разрядов и интегральных показателей эффективности искровых разрядов и систем зажигания в целом.

5. Разработаны схемотехнические решения перспективных систем зажигания на основе исследований базовой схемы импульсно-плазменной системы зажигания, анализа эффективности двухканальных систем зажигания, защищенные четырьмя патентами на полезные модели.

### **Основные результаты диссертации опубликованы в работах**

#### **В изданиях из перечня ВАК:**

1. *Гизатуллин Ф.А., Лобанов А.В.* Моделирование разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания // Вестник УГАТУ, Т. 11 №2 (29), 2008. – С. 161-168.

#### **В других изданиях:**

2. *Лобанов А.В., Гильманов М.Ф.* Сравнительный анализ схем построения емкостных систем зажигания с одним преобразователем на две свечи // Интеллектуальные системы управления и обработки информации: Материалы НТК.- Уфа, 2003. – С. 223.

3. *Лобанов А.В., Худяев В.Н.* Перспективные направления в разработке систем зажигания авиационных двигателей // От мечты к реальности: научно-

техническое творчество создателей авиационной и ракетно-космической техники: Материалы НПК.- Уфа, 2006. – С. 100-102.

4. *Лобанов А.В., Гизатуллин Ф.А.* Перспективы совершенствования плазменных систем зажигания // *Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научн. сб. – Уфа: УГАТУ, 2006. - С. 248-253.*

5. *Патент № 59159 Россия, F 02 P 3/06.* Комбинированная система зажигания / *Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов (Россия).* Оpubл.10.12.2006, бюл.№ 34.

6. *Патент № 59160 Россия, F 02 P 3/06.* Система зажигания / *Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов (Россия).* Оpubл.10.12.2006, бюл.№ 34.

7. *Лобанов А.В.* Двухканальная емкостная система зажигания повышенной эффективности // *Наука. Технологии. Инновации: Материалы НТК: – Новосибирск: НГТУ, 2006. - С. 95-97.*

8. *Лобанов А.В.* Математическое моделирование разрядных процессов в комбинированной системе зажигания // *Актуальные проблемы в науке и технике. Том 2 // Сборник статей 2-ой региональной зимней школы-семинара аспирантов и молодых учёных: – Уфа: Изд-во «Технология», 2007. - С. 190-195.*

9. *Патент № 62664 Россия, F 02 P 3/06.* Комбинированная система зажигания / *Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов, Ш.Б. Нуриев (Россия).* Оpubл.27.04.2007, бюл.№ 12.

10. *Лобанов А.В.* Схемотехническая модель комбинированной системы зажигания // *Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научн. сб. – Уфа: УГАТУ, 2007. - С. 197-201.*

11. *Гизатуллин Ф.А., Лобанов А.В., Нуриев Ш.Б.* О новой разновидности емкостных систем зажигания // *Электроника, автоматика и измерительная техника: межвуз. науч. сб. – Уфа: УГАТУ, 2007. – С. 27-30.*

12. *Лобанов А.В., Нуриев Ш.Б.* Комбинированная емкостная система зажигания для газотурбинных двигателей // *Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: Сборник трудов Том 2. – Уфа: УГАТУ, 2007. – С. 24-25.*

13. *Патент № 75433 Россия, F 02 P 3/06.* Комбинированная система зажигания / *Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов, Р.М. Салихов (Россия).* Оpubл.10.08.2008, бюл.№ 22.

14. *Лобанов А.В.* Об эффективности нового класса импульсно-плазменных систем зажигания // *Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: Сборник трудов – Уфа: УГАТУ, 2008.*

ЛОБАНОВ Андрей Владимирович

ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННЫЕ  
СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ  
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано к печати 17.04.2009. Формат 60 x 84 1/16  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л. 1,25. Усл. кр.- отт. 1,25. Уч. - изд. л. 1,0.  
Тираж 100 экз. Заказ № 152.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Центр оперативной полиграфии  
450000, Уфа - центр, ул. К.Маркса, 12.