

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2571990

### СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЕ САМОЛЕТА

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

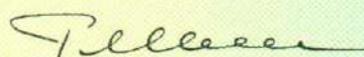
Заявка № 2014139313

Приоритет изобретения **29 сентября 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **30 ноября 2015 г.**

Срок действия патента истекает **29 сентября 2034 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 *Г.П. Ивлиев*





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014139313/11, 29.09.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.09.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.09.2014

(45) Опубликовано: 27.12.2015 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2469205 C2, 10.12.2012. RU 2135814  
C1, 27.08.1999. US 4596220 A1, 24.06.1986. RU  
2032107 C1, 27.03.1995.

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул.,  
29, ФГАОУ ВО "СПбПУ", отдел  
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

**Нагорный Владимир Степанович (RU),  
Колодяжный Дмитрий Юрьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра  
Великого" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)****(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЕ  
САМОЛЕТА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к авиастроению, в частности к способам и устройствам для обработки различных видов жидкого углеводородного топлива. Для повышения эффективности сгорания углеводородного топлива в двигателе самолета топливо из заправочной емкости перекачивают в переменном однородном электрическом поле в течение 30-40

минут в дополнительную емкость, из которой направляют непосредственно перед вылетом самолета в топливный бак авиадвигателя и далее через напорный топливопровод подают к форсунке. Достигается улучшение параметров каплеобразования на выходе топливной форсунки и получение мелкодисперсной топливовоздушной смеси. 3 табл.

RU 2 571 990 C1

RU 2 571 990 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014139313/11, 29.09.2014**

(24) Effective date for property rights:  
**29.09.2014**

Priority:

(22) Date of filing: **29.09.2014**

(45) Date of publication: **27.12.2015** Bull. № **36**

Mail address:

**195251, Sankt-Peterburg, Politekhnikeskaja ul., 29,  
FGAOU VO "SPbPU", otdel intellektual'noj  
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Nagornyj Vladimir Stepanovich (RU),  
Kolodzjzhnyj Dmitrij Jur'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij  
politekhnikeskij universitet Petra Velikogo"  
(FGAOU VO "SPbPU") (RU)**

(54) **INCREASING FUEL COMBUSTION IN AIRCRAFT ENGINE**

(57) Abstract:

FIELD: aircraft engineering.

SUBSTANCE: increase in hydrocarbon fuel combustion efficiency consists in pumping the fuel from fuelling tank in variable homogeneous electric field for 30-40 minutes into extra tank. Therefrom fuel is forced

directly before aircraft takeoff into aircraft engine tank and, further, via pressure fuel line to the nozzle.

EFFECT: better tip leakage parameters at fuel nozzle outlet, attainment of fine fuel-air mix.

3 tbl

RU 2 571 990 C 1

RU 2 571 990 C 1

Предлагаемое изобретение относится к авиастроению, в частности, к способам и устройствам для обработки различных видов жидкого углеводородного топлива перед его сжиганием и может найти применение в системах питания турбореактивных, газотурбинных двигателей, двигателей внутреннего сгорания, в двигателях Стирлинга, а также в иных энергетических установках, например, в горелках котельных и электростанций и других.

Известны различные способы повышения эффективности сгорания углеводородного топлива путем его обработки перед сжиганием.

По одному из них в дизельном двигателе внутреннего сгорания дизельное топливо дополнительно подвергают обработке электрическим полем в камере, в которой испарившийся пар диссоциирует на водород и кислород, поступающие в цилиндры в смеси с топливом и улучшающие процесс его горения [патент РФ №2011881, МПК F02M 27/04, БИ №8, 1994]. Недостатками известного способа являются невысокое качество обработки, многооперационность и конструктивная сложность устройств, его реализующих, которые необходимо дополнительно размещать в двигателе.

Известен способ электрической обработки жидкого топлива, по которому на электроды, размещенные в корпусе, подают высокое напряжение порядка 20-25 кВ и сообщают потоку топлива электрический заряд [патент РФ №2032107, МПК F02M 27/04, БИ №9, 1995]. Недостатками известного способа являются большие энергозатраты, использование высокого напряжения, а также конструктивная и технологическая сложность, требующая существенных конструктивных изменений применительно к существующим топливным системам транспортных средств.

Известен способ повышения эффективности сгорания топлива путем обработки жидких и/или газообразных сред, по которому в полости обработки создается резко неоднородное в пространстве электрическое поле с использованием высоковольтного источника напряжения и, дополнительно, посредством введения постоянных магнитов с чередующейся полярностью создают неоднородное в пространстве постоянное магнитное поле, воздействие которого усиливается применяемым магнитным экраном [патент РФ №2093699, МПК F02M 27/04, БИ №29, 1997]. Недостатками известного способа являются невысокая эффективность, использование высокого напряжения, а также конструктивная и технологическая сложность устройств, его реализующих, требующая существенных конструктивных изменений применительно к существующим топливным системам транспортных средств.

Известен способ интенсификации работы двигателя внутреннего сгорания, заключающийся в том, что топливо и окислитель предварительно обрабатывают в сильном электрическом поле с напряженностью большей или равной 1 кВ/см ( $10^5$  В/м) (с напряжением на электродах до 30000 В), воспламеняют подаваемую в камеру сгорания топливовоздушную смесь и воздействуют на нее сильным электрическим полем [патент РФ №2126094, МПК F02M 27/04, опубл. 20.09.1999 г.]. Недостатками известного способа является использование высокого напряжения для создания сильных электрических полей, а также конструктивная и технологическая сложность устройств, его реализующих, требующая существенных конструктивных изменений в существующих топливных системах транспортных средств.

Наиболее близким к заявляемому материалу и принятым в качестве прототипа является способ повышения эффективности сгорания углеводородного топлива [патент РФ №2469205, МПК F02M 27/04], по которому уменьшают размеры капель топлива при его распылении из форсунки путем создания в потоке топлива перед форсункой между электродами типа «сетка-сетка» продольного к потоку топлива постоянного

электрического поля с высокой напряженностью 800-1500 В/мм ((8-15)  $10^5$  В/м). Далее по данному способу получают топливовоздушную смесь и обеспечивают ее горение. При этом на электроды подают постоянное высоковольтное напряжение. В качестве топлива в прототипе применяли при экспериментах дизельное топливо и бензин, смешанный с 20% этилового спирта.

К недостаткам данного способа повышения эффективности сгорания углеводородного топлива является то, что он предусматривает использование очень сильных электрических полей, высоковольтного напряжения, требует высокой очистки топлива для исключения засорений сеток-электродов, также конструктивная и технологическая сложность устройств, его реализующих, требующая существенных конструктивных изменений в существующих топливных системах транспортных средств.

Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является улучшение без дополнительных конструктивных и технологических изменений в штатной топливной системе авиадвигателя параметров каплеобразования на выходе топливной форсунки, получение мелкодисперсной топливовоздушной смеси, интенсификация процессов горения топливовоздушной смеси, что приведет к более полному ее сгоранию и к снижению уровня токсичности выходных продуктов горения, повышению экономичности потребления топлива при обеспечении требуемой мощности авиадвигателя.

Указанный технический результат достигается тем, что топливо при заправке самолета вначале из заправочной емкости перекачивают в переменном однородном электрическом поле в течение 30-40 минут в дополнительную емкость. При этом изменяют частоту переменного низковольтного (10-600 В) напряжения и создают в топливе поперечное к потоку топлива однородное электрическое поле относительно малой напряженности, при которой диэлектрические потери в углеводородном топливе максимальны и тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  будет максимальным. Далее обработанное таким образом в электрическом поле топливо из дополнительной емкости направляют непосредственно перед вылетом самолета в топливный бак авиадвигателя и, используя штатную систему топливоподачи самолета, через напорный топливопровод подают к форсунке. Распыливают топливо в форсунке и обеспечивают горения топливно-воздушной смеси в камере сгорания. Таким образом, никаких дополнительных технологических и конструктивных изменений в системы топливоподачи, распыла, смесеобразования и сгорания не вносятся, а используются штатные системы авиадвигателя.

В основу предлагаемого способа положены следующие физикохимические явления. Углеводородное топливо (в том числе и авиационное) состоит из ряда компонентов, в частности в его химический состав входит декан. Результаты исследований показывают, что после воздействия на декан переменного электрического поля (при перекачке топлива из заправочной емкости в течение 30-40 минут в дополнительную емкость при электрическом напряжении на коаксиальных электродах 300 В) концентрация декана в дополнительной емкости уменьшается почти вдвое. Через сутки после прекращения действия поля концентрация декана в дополнительной емкости уменьшается еще почти вдвое. Под воздействием переменного электрического поля и после его воздействия декан может дать три дочерних продукта: тетрагидрометилфуран, метилпентан и изометилпентан, которые также подвергаются деструкции, продуктами которой при сохранении атомарного состава должны быть этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$  и пропилен  $\text{C}_3\text{H}_6$ . Продукты с углеродным скелетом  $\text{C}_2$ - $\text{C}_6$ , обладают большей теплотой сгорания,

чем исходная молекула декана с углеродным скелетом  $C_{10}$ . При деструкции молекулы декана  $C_{10}H_{22}$  с образованием двух молекул тетрагидрометилфурана  $C_5H_{10}$  должны образовываться два свободных атома водорода. Свободный водород может возникнуть так же при деструкции метилпентана и изометилпентана. Образование свободного водорода и перенос его вместе с жидким топливом в камеру сгорания ускоряет химическую реакцию окисления. Она протекает быстрее и полнее, так как наличие активных центров в виде атомарного водорода в зоне горения уменьшает среднее значение энергии активации. Высокая реакционная способность атомарного водорода приводит к тому, что эти центры определяют механизм реакции окисления и ее скорость.

Механизмом возникновения активных частиц под действием переменного электрического поля является возбуждение колебательных уровней молекул. При возбуждении колебательных уровней C-C и C-H связи в молекуле не разрываются, но возбужденная молекула становится активной частицей с повышенной реакционной способностью и длительным (исчисляемым часами) временем существования в возбужденном состоянии. Такое время существования активной частицы может объяснить длительность деструкции молекул декана после прекращения действия электрического поля.

При молекулярной модификации углеводородного топлива скорость образования радикалов определяется напряженностью и частотой электрического поля.

Напряженность поля определяет концентрацию активных частиц, возникающих при каждом импульсе, а частота определяет скорость генерации активных частиц.

Поскольку углеводородное топливо является многокомпонентной химической средой, содержащей примеси, то его можно рассматривать как слабый полярный диэлектрик.

При переменном напряжении диэлектрические потери возникают под действием как тока сквозной проводимости, так и релаксационных видов поляризации и процессов возбуждения полем вращательных и колебательных энергетических уровней молекул углеводородного топлива. Максимальному тангенсу угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  будет соответствовать круговая частота переменного напряжения на электродах, обратная времени релаксации возбужденных электрическим полем молекул в топливе.

При этом  $\text{tg}\delta$  имеет значения  $\sim 10^{-3}$ - $10^{-2}$  и более.

Следовательно, таким образом обработанное в электрическом поле топливо (при его перекачке из заправочной емкости в дополнительную емкость) сохраняет свои повышенные активные свойства в течение нескольких (пяти-шести) часов, хотя эти свойства и уменьшаются с течением времени.

Время в полете боевого самолета, как правило, значительно меньше 5-6 часов. Поэтому этого времени сохранения повышенной активности топлива достаточно, чтобы при перекачке электрически обработанного топлива из дополнительной емкости в топливный бак боевого самолета непосредственно перед вылетом повысить эффективность сгорания топлива в его штатной системе, не вводя в нее никаких дополнительных конструктивных элементов.

При реализации предложенного способа применительно к конкретному боевому самолету повышение эффективности сгорания топлива достигается только тем, что в топливный бак самолета топливо перед вылетом поступает из дополнительной емкости с электрически обработанным топливом. При этом никаких конструктивных и технологических изменений в системах самолета не требуется, но выполняется основополагающий критерий при разработке боевого самолета - «быстрее догнать и

быстрее ударить».

В свою очередь, характерными особенностями и преимуществами перед прототипом предлагаемого способа при выполнении операции перекачки топлива из заправочной емкости в дополнительную емкость в электрическом поле являются:

- 5 - использование вместо высоковольтного постоянного напряжения (прототип) низковольтного переменного электрического напряжения на электродах, что позволяет увеличить эффективность сгорания топлива (см. выше) с одновременным упрощением конструкции устройств, реализующих предлагаемый способ при выполнении данной операции перекачки топлива из заправочной емкости в дополнительную емкость;
- 10 - в предлагаемом способе создают переменное относительно слабое электрическое поле в поперечном направлении к потоку углеводородного топлива, тогда как в прототипе создают продольное к потоку топлива постоянное сильное электрическое поле, что усложняет конструкцию реализующих известный способ устройств и увеличивает гидравлическое сопротивление электродной системы потоку топлива;
- 15 - в предлагаемом способе информативным параметром оптимальности процессов сгорания углеводородного топлива является параметр, который можно измерить существующими приборами, а именно - максимальный для выбранного (заданного) вида углеродного топлива тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$ .

Данная величина  $\operatorname{tg} \delta$  соответствует определенной частоте напряжения на электродах, что дает возможность выбрать оптимальную частоту напряжения на электродах, равную максимальному значению  $\operatorname{tg} \delta$ . Это принципиально невозможно реализовать в известных способах, в том числе и в прототипе.

Результаты исследований содержания  $C_{\text{д}} = \frac{C_{\text{д тек}}}{C_{\text{дпо}}} \cdot 100, \%$  декана в обработанном

25 в течение 30-40 минут в поперечном переменном электрическом поле топливе при электрическом напряжении на коаксиальных электродах 300 В при перекачке топлива из заправочной емкости в дополнительную емкость приведены в таблице 1.

Здесь  $C_{\text{тек}}$  - текущее содержание декана в предварительно обработанном в 30 переменном электрическом поле топливе;  $C_{\text{дпо}}$  - содержание декана в топливе непосредственно после обработки в электрическом топливе при перекачке топлива из заправочной емкости в дополнительную емкость.

Таблица 1.		
Последствие электрического поля на топливо		
Содержание декана в обработанном в электрическом поле топливе при перекачке топлива из заправочной емкости в дополнительную емкость,		
$C_{\text{д}} = \frac{C_{\text{д тек}}}{C_{\text{дпо}}} \cdot 100, \%$		
Непосредственно после обработки в электрическом поле	Через 24 часа после обработки в электрическом поле	Через 48 часов после обработки в электрическом поле
100	48	23,5

Таким образом, экспериментально подтверждено последствие воздействия 45 электрического поля на топливо при приложении к потоку топлива поперечного переменного электрического поля с изменяющейся частотой для достижения максимального тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  подачей низковольтного переменного напряжения на электроды с изменяющейся частотой.

В свою очередь, проведены стендовые испытания влияния низковольтного (до 400 В) переменного напряжения на коаксиальных электродах, между которыми протекает дизельное топливо, на процессы смесеобразования и сгорания в дизельном двигателе. Стендовые испытания двигателей внутреннего сгорания выполнены в аттестованной 5 уполномоченной лаборатории СДС ГСМ-FLM №РОСС. RU.04ХД.ИЛ 001 Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, уполномоченной производить работы по моторным испытаниям топлив, смазочных масел и автохимии. Испытания выполнялись в соответствии с ГОСТ14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний». Для анализа получаемых эффектов были введены 10 промежуточные баллы мощности, экономичности, эффективного к.п.д., рассчитываемые как усредненные проценты отклонения параметров дизельного двигателя, полученных при работе на испытуемом дизельном топливе, прошедшем обработку между электродами с подачей на них переменного низковольтного напряжения с изменяющейся частотой, относительно эталонного. Усреднение проводилось по 20 режимам 15 нагрузочных характеристик. Результаты испытаний дизельного двигателя приведены в таблицу 2

Таблица 2.  
Усредненные эффекты (%) при пропуске дизельного топлива между коаксиальными электродами, на которые подавалось низковольтное переменное напряжение (до 400 В) с изменяющейся частотой, до его подачи в камеру сгорания дизельного двигателя

	Усредненные эффекты, % относительно базы					
	Расход топлива	Эффективный к.п.д.	СО	СН	NOx	Дым
С низковольтным переменным напряжением на коаксиальных электродах с изменяющейся частотой	-6,2	+6,2	-5,4	-6,8	+5,3	-24,0

Аналогичные испытания были проведены на бензиновом двигателе с впрыском топлива типа ВА3-2111. Для анализа полученных эффектов были введены 30 промежуточные баллы мощности, экономичности, эффективного к.п.д., токсичности отдельно по компонентам СО, СН, NOx, рассчитываемые как усредненные проценты отклонения параметров двигателя, полученных при работе на испытуемом бензине А-95, прошедшем обработку между электродами с подачей на них переменного низковольтного напряжения с изменяющейся частотой, относительно эталонного. Усреднение проводилось по 27 режимам нагрузочных и внешней скоростной 35 характеристик.

Результаты расчета показателей качества сгорания топливовоздушной смеси, замеренных и рассчитанных по итогам испытаний, сведены в таблицу 3.

Таблица 3.  
Усредненные эффекты (%) при пропуске бензина АИ-95 между коаксиальными электродами, на которые подавалось низковольтное переменное напряжение (до 400 В) с изменяющейся частотой, до его подачи на форсунку в впрысковом двигателе ВА3-2111.

	Усредненные эффекты, % относительно базы				
	Расход топлива	Эффективный К.П.Д.	СО	СН	NOx
С низковольтным переменным напряжением на коаксиальных электродах с изменяющейся частотой	-6,6	+5,8	-3,3	-11,5	+4,2

В таблице 2 и таблице 3 знак «минус» означает снижение соответствующего

показателя (в процентах) при воздействии на поток углеводородного топлива поперечного к потоку переменного электрического поля с изменяющейся частотой по сравнению с исходным необработанным электрическим полем топливом, а знак «плюс» - увеличение показателя.

- 5 Таким образом, экспериментально подтверждено (см. табл. 1 - табл. 3) увеличение эффективности сгорания углеводородного топлива при приложении к потоку топлива поперечного переменного электрического поля с изменяющейся частотой для достижения максимального тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  подачей низковольтного переменного напряжения на электроды с изменяющейся частотой.
- 10 При этом топливо из заправочной емкости перекачивают в переменном однородном электрическом поле в течение 30-40 минут в дополнительную емкость, из которой направляют непосредственно перед вылетом самолета в топливный бак авиадвигателя и далее через напорный топливопровод подают к форсунке.

#### 15 Формула изобретения

- Способ повышения эффективности сгорания топлива в двигателе самолета путем обработки топлива в электрическом поле в напорном топливопроводе при перекачивании из предварительно заправленного из заправочной емкости топливного бака, распыливания топлива в форсунке и горения топливно-воздушной смеси,
- 20 отличающейся тем, что топливо из заправочной емкости перекачивают в переменном однородном электрическом поле в течение 30-40 минут в дополнительную емкость, из которой направляют непосредственно перед вылетом самолета в топливный бак авиадвигателя и далее через напорный топливопровод подают к форсунке.

25

30

35

40

45