

## РАБОТА ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С УНИФИЦИРОВАННЫМ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ НА АВИАЦИОННОМ КЕРОСИНЕ

М. Д. ГАРИПОВ<sup>1</sup>, Р. Ю. САКУЛИН<sup>2</sup>, Д. Р. РЕЗВАНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>garry76@mail.ru, <sup>2</sup>laminar\_burn@mail.ru, <sup>3</sup>ugatu.daniil@mail.ru

<sup>1-3</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 25.02.2016

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования унифицированного рабочего процесса, реализованного на базе двухтактного двигателя ММВЗ-3.112 при работе на авиационном керосине ТС-1. Представлено описание экспериментальной установки, а также методика проведения экспериментальных исследований. Проведено исследование работы экспериментального двигателя на полной нагрузке и холостом ходу. Исследованы пусковые свойства двигателя при низкой температуре.

**Ключевые слова:** унифицированный рабочий процесс; непосредственный впрыск топлива; многотопливность; двухтактный двигатель.

Развитие поршневого двигателестроения шло, в основном, по пути совершенствования двигателей, работающих на каком-либо одном виде топлива – на высокооктановом бензине или дизельном топливе. Тем не менее, исследования, связанные с созданием двигателей, способных работать на различных топливах, всегда представляли определенный интерес. Объясняется это в том числе и тем, что «гибкость» таких двигателей по отношению к октановому числу и испаряемости топлива позволила бы решить вопрос перехода на использование менее энергозатратных и более дешевых в производстве видов топлив.

Примером такого перехода в сфере нефтяных топлив может являться замена дизельного топлива и бензина топливами широкого фракционного состава, в сфере альтернативных топлив – использование водных растворов этанола вместо абсолютированного этанола.

Существующие многотопливные двигатели имеют недостатки. Основным недостатком традиционных многотопливных дизелей является высокая удельная масса из-за необходимости применения очень высоких степеней сжатия (до 24) [1]. У многотопливных двигателей с искровым воспламенением основным недостатком является высокий расход топлива на больших нагрузках при использовании низкооктановых топлив, что объясняется

необходимостью применения низких степеней сжатия (около 7,4) [2].

Целесообразно создание многотопливного двигателя, совмещающего топливную экономичность дизеля и низкую удельную массу двигателя с искровым воспламенением. Особую актуальность это требование приобрело в последнее время в области двигателей для малой авиации, где требование малой массы и низкого расхода топлива должно удовлетворяться при работе в том числе на тяжелых топливах (керосине и дизельном топливе).

Для того чтобы двигатель мог сочетать в себе топливную экономичность дизелей и удельную массу бензиновых двигателей, необходимо выполнить следующие основные требования к рабочему циклу:

1) целесообразный диапазон степеней сжатия, приблизительно 12–14 [3, 4];

2) работа в широком диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха (на уровне современных дизелей) [5, 6];

3) работа в широком диапазоне частот циклов (на уровне современных двигателей с искровым воспламенением).

Вышеперечисленные требования к рабочему циклу не позволяют, на наш взгляд, использовать самовоспламенение в качестве основного способа воспламенения. Это объясняется тем, что при использовании такого способа прихо-

дится сталкиваться с сильной зависимостью задержки воспламенения от типа топлива и термодинамических условий в рабочей камере. Самовоспламенение в рабочем процессе может сопровождать сгорание, при определенных условиях даже его инициировать. Но его присутствие не должно являться обязательным требованием. Многотопливный двигатель, удовлетворяющий вышеперечисленным требованиям, должен, на наш взгляд, иметь принудительное воспламенение. В пользу этого утверждения говорят, например, исследования [1, 7, 8, 9], где для воспламенения различных топлив использовались многоискровые системы повышенной мощности. Но воспламенение желательно производить единичным искровым разрядом (как в бензиновых двигателях), поскольку этот механизм отличается определенностью и управляемостью момента воспламенения. Для возможности воспламенения топливо в районе искрового разряда должно быть в газовой фазе, а смесь должна находиться в концентрационных пределах воспламенения. Обеспечить эти условия при использовании трудноиспаряемых (по сравнению с бензином) топлив (обводненный этанол, керосин, дизельное топливо) довольно сложно.

Воспламенение единичным искровым разрядом керосина, д/т во всем диапазоне нагрузок в условиях качественного регулирования удалось осуществить на практике. Одним из примеров может служить рабочий процесс фирмы *Orbital* [10]. Использование в этом процессе непосредственного впрыска топливовоздушной смеси (пневматическое распыливание) позволяет получить высокое качество распыла. Причем это качество лишь незначительно меняется при переходе от бензина к дизельному топливу.

Однако используемая фирмой *Orbital* система топливоподачи с низким давлением не позволяет использовать поздние углы опережения впрыска. Известно, что на высоких нагрузках в диапазоне степеней сжатия 12...14 в однородных смесях при использовании низкооктановых топлив возникает детонация. Одним из способов реализации бездетонационного сгорания является организация сгорания предварительно перемешанных или частично перемешанных смесей. Необходимая для бездетонационного сгорания относительная доля предварительно перемешанной смеси зависит от вида топлива, режима работы двигателя и параметров окружающей среды. Ее можно регулировать, например, углом опережения впрыска. Чем позже впрыск, тем меньше относительная доля предварительно перемешанной смеси, образо-

ванной к моменту воспламенения. Наиболее поздние углы опережения впрыска должны, по-видимому, быть близки к углам опережения впрыска, реализуемым в дизелях.

Поэтому невозможность использования в системе топливоподачи фирмы *Orbital* поздних углов опережения впрыска, по-видимому, не позволит получить неоднородность смеси, достаточную для осуществления на высоких нагрузках бездетонационного сгорания низкооктановых топлив в диапазоне степеней сжатия 12...14.

На кафедре ДВС УГАТУ разрабатывается рабочий процесс, способный реализовать вышеупомянутые требования, то есть совместить в себе лучшие качества обоих современных типов поршневых двигателей и эффективно работать на топливах с широким диапазоном изменения испаряемости и октанового числа. Такой рабочий процесс можно назвать унифицированным [11]. В качестве топлив для этого рабочего процесса предполагается использовать дизельное топливо, керосин, низкооктановые бензины и обводненный этанол.

В данной статье представлены некоторые результаты исследования работы двухтактного двигателя с унифицированным рабочим процессом на авиационном керосине.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Унифицированный рабочий процесс реализован на базе двухтактного одноцилиндрового двигателя с двухканальной возвратно-петлевой продувкой. Для того чтобы сохранить коэффициент наполнения исходного двигателя, во многом определяемого геометрией камеры сгорания, камеру сгорания решено было оставить неизменной. На данном этапе работ это, на наш взгляд, более важно, чем увеличение степени сжатия до диапазона 12...15. Поэтому эксперименты проводились на стандартной для данного двигателя степени сжатия, равной 10,5. Поршень оставили неизменным по этой же причине.

Мы предлагаем использовать систему непосредственного впрыска топливовоздушной смеси. Воспламенение осуществляется при помощи искрового разряда, расположенного на периферии факела распыла. Свеча зажигания при этом расположена на расстоянии примерно 10 мм от распылителя (рис. 1).

В предлагаемом рабочем процессе давление впрыска должно быть значительно выше, нежели в системе *Orbital*. Выбирать его следует исходя из двух основных условий. Во-первых, условия создания перепада давления, достаточ-

ного для нужного распределения топлива по камере сгорания. Давление впрыска в данном случае сильно зависит от того, насколько поздние углы опережения впрыска требуются для обеспечения бездетонационного сгорания.

Вторым условием выбора давления впрыска является дробление, нагрев и частичное испарение топлива, необходимые для организации воспламеняемой смеси в районе искрового промежутка. Нагрев и частичное испарение происходит в результате сжатия топливовоздушной смеси в системе впрыска. Величина требуемого предварительного нагрева зависит от вида применяемого топлива, температур окружающей среды и режима работы двигателя.

На рис. 1 представлена схема конструкции, реализующей унифицированный рабочий процесс в условиях двухтактного двигателя. Топливо с небольшим количеством воздуха поступает в полость компрессор-форсунки (КФ) 5, где происходит предварительная стадия смесеобразования – подогрев, дробление, перемешивание и частичное испарение топлива. Поршень 6 компрессор-форсунки приводится в движение от коленчатого вала двигателя. При достижении давления, достаточного чтобы преодолеть усилие пружины иглы распылителя, происходит впрыск топливовоздушного факела 1 в рабочую камеру двигателя, в которой окончательно формируется топливовоздушная смесь (ТВС). Максимальное давление в рабочей полости компрессор-форсунки (КФ) составляет 6 МПа. Использован одноструйный распылитель. Зажигание смеси осуществляется искровым разрядом от свечи зажигания 7 на периферии топливовоздушного факела. Компрессор-форсунка оснащена необходимыми устройствами для дозирования топлива 4. Система зажигания имеет традиционную конструкцию и параметры разряда, характерные для современных бензиновых двигателей.

На рис. 2 показан общий вид экспериментального двигателя. В табл. 1 представлены параметры этого двигателя.

Задачи экспериментов:

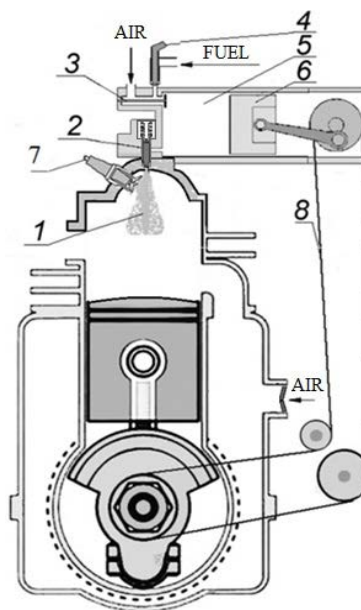
1) исследовать возможность реализации искрового воспламенения при качественном регулировании,

2) исследовать возможность реализации бездетонационного сгорания при работе на внешней скоростной характеристике,

3) исследовать возможности пуска двигателя при низких температурах окружающей среды.

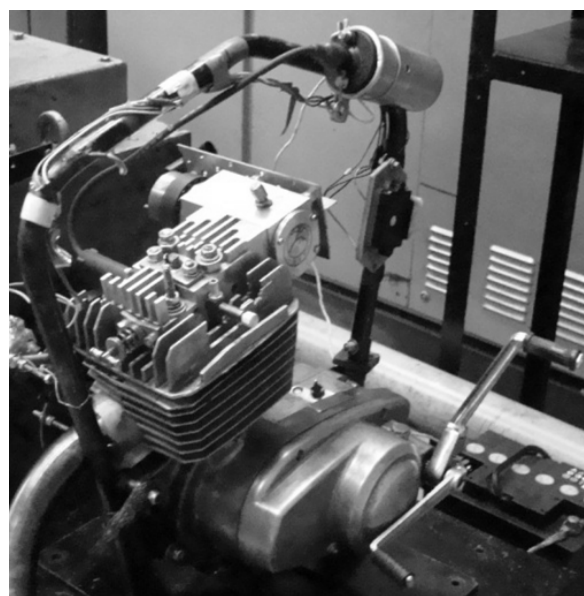
В качестве топлива использовался керосин ТС-1. Дросселирование воздуха на впуске в двигатель не осуществлялось. При снятии

характеристик двигателя на каждой из точек измерения определялись оптимальные углы опережения впрыска и зажигания. Критерием оптимальности при исследовании режима холостого хода являлся минимальный часовой расход топлива. На остальных режимах – минимальный удельный эффективный расход топлива.



**Рис. 1.** Схема конструкции с унифицированным рабочим процессом:

1 – струя обогащенной топливовоздушной смеси; 2 – распылитель; 3 – тарельчатый клапан; 4 – игольчатый дозатор; 5 – рабочая камера компрессор-форсунки (КФ); 6 – поршень КФ; 7 – свеча зажигания; 8 – ременный привод КФ



**Рис. 2.** Общий вид экспериментального двигателя

Таблица 1

**Краткая техническая характеристика двигателя**

Показатели	Значения
Число цилиндров	1
Диаметр цилиндра, мм	52
Ход поршня, мм	58
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	123
Степень сжатия	10,5

Температура воздуха в лаборатории во время проведения измерений была  $t_0 = 25^\circ\text{C}$ , давление  $p_0 = 741$  мм рт. ст. Температурный режим двигателя контролировался с помощью термопары, которая была установлена под уплотнительной шайбой свечи зажигания. Исследуемые параметры двигателя регистрировались после установления температурного режима ( $180\text{--}200^\circ\text{C}$ ).

При исследовании пусковых свойств двигателя выдерживался при температуре окружающей среды в течении 12 часов (ночью) с заранее заправленным топливом. Испытания проводились при следующих температурах окружающей среды в момент запуска:  $+20$ ,  $-10$ ,  $-20$ ,  $-25^\circ\text{C}$ . Температура деталей двигателя (стенки и головки цилиндра), топлива и воздуха окружающей среды отличались друг от друга не более чем на  $1^\circ\text{C}$ . Пуск двигателя производился от кик-стартера.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

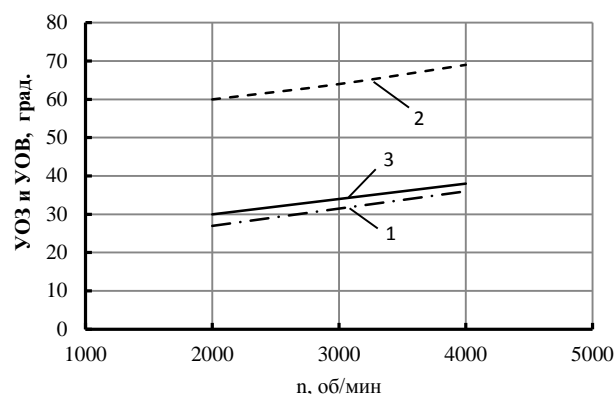
При качественном регулировании мощности режим холостого хода осуществляется с высокими коэффициентами избытка воздуха. Для предварительно перемешанных смесей такой состав находится вне концентрационных пределов искрового зажигания. Поэтому смесеобразование было организовано так, чтобы на режимах холостого хода и малых нагрузок осуществлялось сгорание частично перемешанных смесей. Относительную долю предварительно перемешанной к моменту воспламенения смеси регулировали углом опережения впрыска. Как уже упоминалось, в работе использовалось воспламенение топливоздушной струи искровым разрядом, расположенным на ее периферии.

Эксперименты показали, что диапазон стабильного зажигания топливоздушной струи на холостом ходе составляет примерно  $+15 \dots -5$  градусов угла поворота коленчатого вала (ПКВ) относительно конца впрыска. Оптимальные (с точки зрения расхода топлива) углы опережения зажигания, начала и конца впрыска, полученные для режима холостого хода, пред-

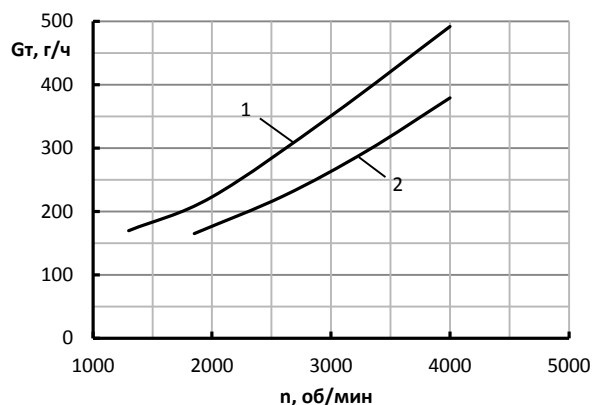
ставлены на рис. 3. Как видно из рисунка, искровое зажигание необходимо осуществлять ближе к концу впрыска.

На рис. 4 представлена соответствующая этим углам зависимость для расхода топлива. Максимальное соотношение воздуха к топливу на  $2000 \text{ мин}^{-1}$ , определенное путем измерений расхода топлива и воздуха, составило приблизительно 85:1. Измерение расхода воздуха на впуске в двухтактный двигатель не может дать информацию о количестве воздуха, оставшегося в цилиндре в момент закрытия органов газообмена, поскольку значительное количество воздуха выбрасывается в выпускной трубопровод и не участвует в рабочем процессе. Поэтому приведенное соотношение не отражает действительное значение коэффициента избытка воздуха в цилиндре.

Для сравнения на этом же рисунке приведена характеристика расхода бензина базового карбюраторного двигателя.

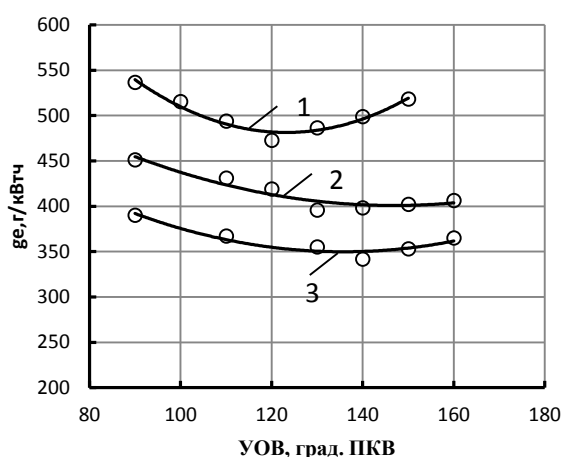


**Рис. 3.** Зависимость изменения углов опережения зажигания (УОЗ) и опережения впрыска (УОВ) от частоты вращения коленчатого вала на холостом режиме:  
1 – конец впрыска, 2 – начало впрыска, 3 – УОЗ



**Рис. 4.** Изменение часового расхода топлива по скоростной характеристике на режиме холостого хода: 1 – базовый двигатель; 2 – экспериментальный двигатель с КФ

С увеличением нагрузки оптимальные УОВ возрастают. На полной нагрузке УОВ примерно в 2 раза больше, чем УОВ, соответствующие холостому ходу. На рис. 5 приведены изменения удельного эффективного расхода топлива двигателя от УОВ на внешней скоростной характеристике. Большие значения оптимальных УОВ объясняются использованием односоплового распылителя и тем, что не производилась оптимизация геометрии камеры сгорания под экспериментальные рабочие процессы. Из-за этого скорость перемешивания, видимо, не была достаточной для возможности использования более поздних УОВ.

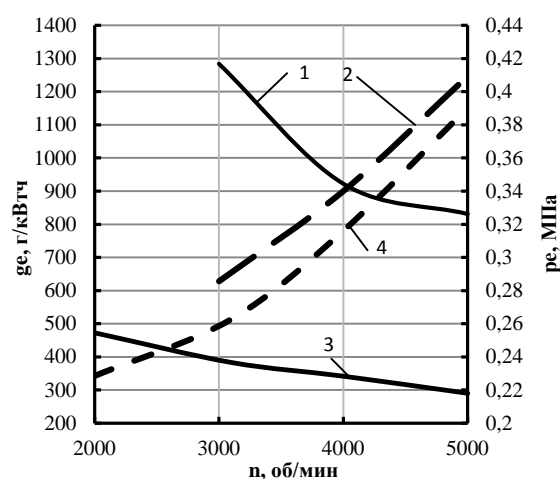


**Рис. 5.** Регулировочная характеристика по УОВ на ВСХ:  
1)  $n=2000 \text{ мин}^{-1}$ ; 2)  $n=3000 \text{ мин}^{-1}$ ;  
3)  $n=4000 \text{ мин}^{-1}$

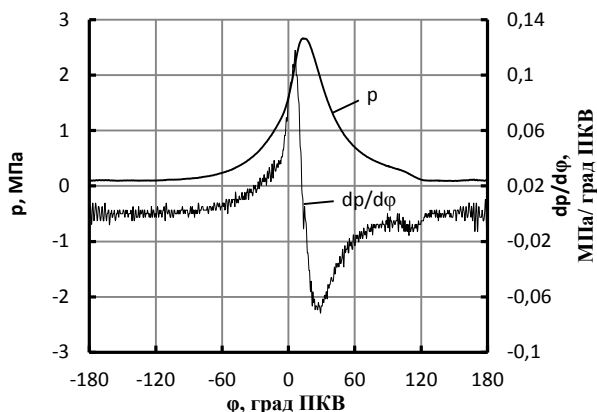
На рис. 6 приведены изменения параметров экспериментального двигателя по внешней скоростной характеристике при оптимальных углах опережения впрыска и зажигания. Для сравнения на этом же рисунке приведены характеристики базового карбюраторного двигателя при работе на бензине. Среднее эффективное давление двигателя с экспериментальными процессами ниже соответствующего значения базового двигателя примерно на 5–8 %. Эта разность приблизительно соответствует доле мощности, требуемой для привода компрессор-форсунки (около 5 %).

Углы опережения зажигания были оптимальными (их зависимость от частоты вращения вала такая же, как и при холостом ходе) и не ограничивались детонацией. Из рис. 7–10 видно, что детонация не наблюдалась ни на

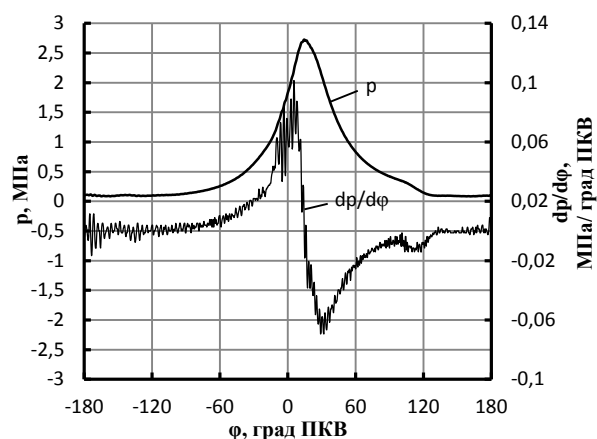
одном из режимов полных нагрузок. Объясняется это достаточно низким средним эффективным давлением, достигаемым в выбранном двигателе. Кроме того, на испытанном интервале частот вращения кривая  $p_e$  (среднее эффективное давление) возрастает вместе с увеличением частоты вращения, что также способствует снижению вероятности возникновения детонации. Поэтому проведенные эксперименты не позволяют судить о возможности организации (с помощью предлагаемого способа) бездетонационного сгорания низкооктановых топлив в ДВС с более распространенными значениями среднего эффективного давления ( $p_e \sim 1 \text{ МПа}$  и выше). Для реализации бездетонационного сгорания при таких  $p_e$  потребуется, видимо, использовать более поздние углы опережения впрыска. При этом для получения приемлемых характеристик выгорания необходимо будет обеспечить условия для высоких скоростей перемешивания. Для этого придется перейти на схему с многосоловым распылителем (искровой промежуток должен будет находиться вблизи одной из струй) и подобрать геометрию камеры сгорания. Относительно высокое давление впрыска, которое можно реализовать в предлагаемой системе, должно позволить осуществить такой рабочий процесс.



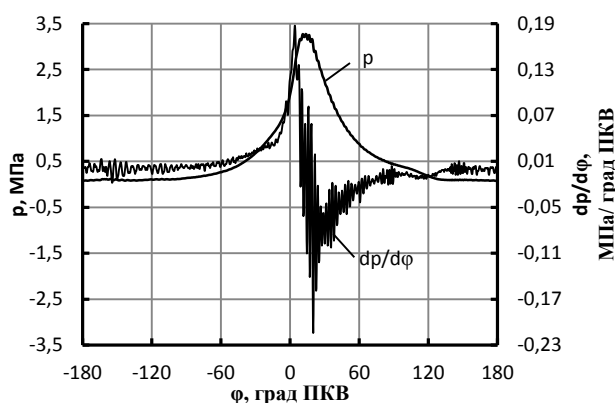
**Рис. 6.** Значения удельного эффективного расхода топлива и эффективной мощности по ВСХ:  
1 – удельный эффективный расход топлива базового двигателя; 2 – эффективная мощность базового двигателя; 3 – удельный эффективный расход топлива экспериментального двигателя; 4 – эффективная мощность экспериментального двигателя



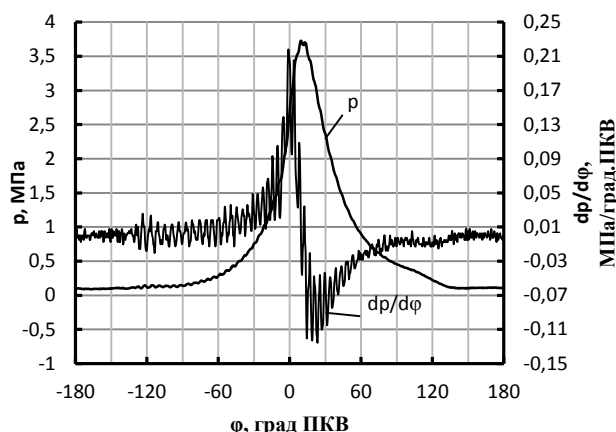
**Рис. 7.** Экспериментальная диаграмма изменения давления  $p$  (МПа) и  $dp/d\phi$  (МПа/град. ПКВ) от угла поворота коленчатого вала  $\phi$ ; режим полной нагрузки:  $n=2000$  об/мин



**Рис. 8.** Экспериментальная диаграмма изменения давления  $p$  (МПа) и  $dp/d\phi$  (МПа/град. ПКВ) от угла поворота коленчатого вала  $\phi$ ; режим полной нагрузки:  $n=3000$  об/мин



**Рис. 9.** Экспериментальная диаграмма изменения давления  $p$  (МПа) и  $dp/d\phi$  (МПа/град. ПКВ) от угла поворота коленчатого вала  $\phi$ ; режим полной нагрузки:  $n=4000$  об/мин



**Рис. 10.** Экспериментальная диаграмма изменения давления  $p$  (МПа) и  $dp/d\phi$  (МПа/град. ПКВ) от угла поворота коленчатого вала  $\phi$ ; режим полной нагрузки:  $n=5000$  об/мин

Экспериментальное исследование пусковых свойств двигателя производилось при углах опережения впрыска и зажигания, соответствующих таковым при минимальной частоте вращения двигателя на холостом ходу (рис. 3). Перед пуском никаких дополнительных действий (прокачки топлива, подогрева топлива и т.п.), кроме открытия игольчатого дозатора подачи топлива и включения тумблера системы зажигания, не производилось.

Эксперименты подтвердили возможность пуска двигателя при низких температурах окружающей среды. В табл. 2 приведена зависимость количества нажатий на кик-стартер, после которого наблюдался успешный пуск двигателя, от температуры окружающей среды. При более низких температурах испытания не проводились. Поэтому, возможно, что  $-25^\circ\text{C}$  не является предельной температурой успешного запуска.

Таблица 2

Пусковая характеристика двигателя

Температура воздуха окружающей среды, $^\circ\text{C}$	Количество нажатий на кик-стартер
+20	3
-10	3
-20	5
-25	7

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально подтверждена возможность работы двухтактного двигателя с унифицированным рабочим процессом на авиационном керосине ТС-1. Эксперименты показали, что рабочий цикл позволяет осуществлять:

1) качественное регулирование до значений соотношения воздуха к топливу, равных приблизительно 85:1,

2) бездетонационное сгорание при степени сжатия 10,5 во всем диапазоне нагрузок базового двигателя (максимальное значение среднего эффективного давления примерно 0,4 МПа),

3) пуск двигателя при низких температурах окружающей среды (до -25 °С).

В дальнейшем планируется проведение исследований в диапазоне степеней сжатия 12...14 на двигателе с более высокими значениями среднего эффективного давления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ward Michael A.V.** Spark-ignited diesel engine. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a230243.pdf> (дата обращения 1.11.1990). [Ward, A. V. Michael (1990, Nov. 1). Spark-ignited diesel engine [Online]. Available: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a230243.pdf>]
2. **Singh R., McChesney R.** Development of Multi-Fuel Spark Ignition Engine // SAE Technical Paper 2004-32-0038. 2004. Doi: 10.4271/2004-32-0038. [R. Singh, R. McChesney, "Development of Multi-Fuel Spark Ignition Engine," in SAE Technical Paper, 2004-32-0038. Doi: 10.4271/2004-32-0038. 2004.]
3. **Гарипов М. Д., Сакулин Р. Ю.** Влияние степени сжатия и способы регулирования нагрузки на эффективные показатели поршневых ДВС // Ползуновский вестник. 2006. № 4-1. С. 54-57. [M. D. Garipov, R. Y. Sakulin, "Influence of the degree of compression and load control means for effective parameters of reciprocating ICE," (in Russian), in Polzunovsky vestnik, no. 4-1, pp. 54-57, 2006.]
4. **Гарипов М. Д., Назмутдинова Г. Р., Сакулин Р. Ю.** Расчетное исследование влияния степени сжатия на эффективные показатели дизельного двигателя // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 2 (47). С. 138-141. [M. D. Garipov, G.R. Nazmutdinova and R. Y. Sakulin, "The design study of the influence compression for efficient parameters of the diesel engine," (in Russian), in Vestnik UGATU, vol. 16, no. 2 (47), pp. 138-141, 2012.]
5. **Гарипов М. Д.** Качественное регулирование нагрузки в многотопливном ДВС с искровым воспламенением // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 2 (47). С. 142-145 [M. D. Garipov, "Quality control of the load in the multi-fuel internal combustion engine with spark ignition," (in Russian), in Vestnik UGATU, vol. 16, no. 2 (47), pp. 142-145, 2012.]
6. **Еникеев Р. Д., Домбровский О. П., Резванов Д. Р.** Двухтактный бензиновый двигатель с регулированием мощности методом изменения состава смеси // Двигателестроение. 2012. № 2. С. 19-24 [R. D. Enikeev, O.P. Dombrovsky and D.R. Rezvanov, "Power control in a Two-stroke Petrol engine by varying air/fuel ratio," (in Russian), in Dvigatelistroyeniye, no. 2, pp. 19-24, 2012.]
7. **Barber E., Reynolds B. and Tierney W.** Elimination of Combustion Knock-TEXACO Combustion Process // SAE Technical Paper 510173. 1951. Doi: 10.4271/510173. [E. Barber, B. Reynolds and W. Tierney, "Elimination of Combustion Knock-TEXACO Combustion Process," in SAE Technical Paper, 510173. Doi:10.4271/510173. 1951.]
8. **Meurer J. and Urlaub A.** Development and Operational Results of the MAN FM Combustion System // SAE Technical Paper 690255. 1969. Doi: 10.4271/690255. [J. Meurer and A. Urlaub, "Development and Operational Results of the MAN FM Combustion System," in SAE Technical Paper, 690255. Doi: 10.4271/690255. 1969.]
9. **Phatak R. and Komiyama K.** Investigation of a Spark-Assisted Diesel Engine // SAE Technical Paper 830588. 1983. Doi:10.4271/830588. [R. Phatak and K. Komiyama, "Investigation of a Spark-Assisted Diesel Engine," in SAE Technical Paper, 830588. Doi: 10.4271/830588. 1983.]
10. **Cathcart G., Dickson G. and Ahern S.** The Application of Air-Assist Direct Injection for Spark-ignited Heavy Fuel 2-Stroke and 4-Stroke Engines // SAE Technical Paper 2005-32-0065. 2005. [G. Cathcart, G. Dickson and S. Ahern, "The Application of Air-Assist Direct Injection for Spark-ignited Heavy Fuel 2-Stroke and 4-Stroke Engines," in SAE Technical Paper, 2005-32-0065. 2005.]
11. **Гарипов М. Д.** Новая концепция организации бездетонационного сгорания низкооктановых топлив в ДВС с искровым зажиганием // Автомобильная промышленность. 2010. № 4. С. 8-11. [M. D. Garipov, "Investigation of low-octane fuels combustion without detonation in spark assisted internal combustion engines," (in Russian), in Avtomobilnay promyshlennost, no. 4, pp. 8-11, 2010.]

#### ОБ АВТОРАХ

**ГАРИПОВ Марат Данилович**, доц. Канд. техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2004). Доктор техн. наук по тепловым двигателям (ЮрГУ, 2013). Иссл. в обл. перспективных рабочих процессов ДВС, биотоплив.

**САКУЛИН Роман Юрьевич**, доц. Магистр техники и технологий (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. перспективных рабочих процессов ДВС, биотоплив.

**РЕЗВАНОВ Даниил Рустамович**, Дип. инж. (УГАТУ, 2011), асс. каф. ДВС. Иссл. в обл. двухтактных ДВС.

**METADATA**

**Title:** Jet fuel utilization in the two-stroke engine with unified work process.

**Authors:** M. D. Garipov<sup>1</sup>, R. Y. Sakulin<sup>2</sup>, D. R. Rezvanov<sup>3</sup>.

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>garry76@mail.ru, <sup>2</sup>laminar\_burn@mail.ru,

<sup>3</sup>ugatu.daniil@mail.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 1 (71), pp. 33–40, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** Results of jet fuel utilization in the two-stroke engine MMVZ-3.112 with unified work process are discussed. Experimental engine design and testing method are presented. Full load mode, idling and cold start of the experimental engine are investigated and analyzed.

**Key words:** Unified work process; direct fuel injection; multifuel; two-stroke engine.

**About authors:**

**GARIPOV, Marat Danilovich**, docent of ICE Dept., Cand. of Tech. Sci. (USATU, 2004), Dr. of Tech. Sci. (SUSU, 2013).

**SAKULIN, Roman Yur'yevich**, docent of ICE Dept., Master of tech. and technol. (UGATU 2006). Cand. of Tech. Sci. (USATU, 2010).

**REZVANOV, Daniil Rustamovich**, postgrad. student, ICE Dept. Dipl. engineer in IC engines (USATU, 2011).