

Энергетика и электротехника

УДК 621.43.06

Экспериментальное исследование двухтактного двигателя, оснащенного выпускной системой с боковым отверстием в трубопроводе^{*}

М.Д. Гарипов, Р.Д. Еникеев, Р.Ф. Зиннатуллин,
А.А. Мелков, Р.Ю. Сакулин, Э.М. Халилов

Уфимский университет науки и технологий

Experimental study of the two-stroke engine equipped with a side outlet in the exhaust system pipeline

M.D. Garipov, R.D. Enikeev, R.F. Zinnatullin,
A.A. Melkov, R.Y. Sakulin, E.M. Khalilov

Ufa University of Science and Technology

Приведены результаты экспериментального исследования двухтактного двухцилиндрового двигателя V-образной компоновки с настроенными системами выпуска. Исследованы две системы выпуска — экспериментальная, состоящая из двух индивидуальных труб с боковыми отверстиями и дополнительными расширительными камерами, и традиционная с коническими участками и расширительной камерой. Сопоставление результатов эксперимента показало, что максимальные мощности двухтактного двухцилиндрового двигателя различаются не более чем на 1,5 %. Причем масса экспериментальной системы выпуска может быть меньше более чем в 2 раза и не превышать массу системы выпуска рядного двигателя с единой на два цилиндра трубой с расширительной камерой.

EDN: BMELZO, <https://elibrary/bmelzo>

Ключевые слова: двухтактный авиационный двигатель, настроенная система выпуска, волна сжатия, волна разрежения, отверстие в трубопроводе, расширительная камера

This paper presents the results of an experimental study of a two-stroke, two-cylinder, V-engine with tuned exhaust systems. The study examined an experimental exhaust system consisting of two individual pipes with side outlets and additional expansion chambers, and a conventional two-stroke engine system with conical sections and an expansion chamber. A comparison of the experimental results showed that the maximum engine power differed by no more than 1.5 %. Moreover, the mass of the experimental exhaust system can be more

^{*} Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEUE-2023-0007 (УУНИТ).

than two times lower and not exceed the mass of the exhaust system of an in-line engine with a single pipe with an expansion chamber for two cylinders.

EDN: BMELZO, <https://elibrary/bmelzo>

Keywords: two-stroke aircraft engine, tuned exhaust system, compression wave, expansion wave, outlet in pipeline, expansion chamber

Двухтактные авиационные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) обладают высокими эффективными показателями, в том числе благодаря настройке системы выпуска [1–3]. Однако настроенные системы выпуска двухтактных ДВС, в частности с расширительной камерой (рис. 1, а), имеют такие существенные недостатки, как большие масса и габаритные размеры. Наименее остро эта проблема проявляется у ДВС с равномерным чередованием вспышек, где фазы выпуска не перекрываются (или незначительно перекрываются) и наложение волн отсутствует (например, в рядных двухцилиндровых ДВС), либо наложение волн от разных цилиндров полезно используется (например, в рядных трех-или четырехцилиндровых двигателях). В этих случаях системы выпуска разных цилиндров можно объединить [2].

Эта же проблема наблюдается у одноцилиндровых ДВС и двухцилиндровых ДВС с неравномерным чередованием вспышек. Хотя в оппозитных двухцилиндровых ДВС и можно использовать одну настроенную трубу на два цилиндра, но ввиду того, что вспышки происходят в двух цилиндрах одновременно, приходится увеличивать поперечное сечение трубы относительно сечения, требуемого для двухцилиндрового рядного ДВС. Это неизбежно влечет увеличение ее массы.

Следует отметить, что даже у рядного ДВС масса настроенной системы выпуска велика. Так, масса двухцилиндрового двигателя Rotax 503 составляет 30,4 кг, а масса его системы выпуска — 4,9 кг [4]. При применении V-образной

компоновки приходится использовать индивидуальные трубы для каждого цилиндра, что почти удваивает массу системы выпуска.

Отмеченные особенности ограничивают использование настроенных труб в авиационных одноцилиндровых ДВС и двухцилиндровых ДВС с неравномерным чередованием вспышек. Однако такие ДВС (V-образные и оппозитные двухцилиндровые) благодаря компоновочным схемам хорошо охлаждаются набегающим потоком воздуха и могут эксплуатироваться без принудительного обдува, что важно для авиационного ДВС.

Эффект различного взаимодействия волн разрежения и сжатия с боковым отверстием в трубопроводе открыт достаточно давно [5]. Позже рассмотрена теория этого явления и проведены исследования влияния геометрических характеристик трубопровода с отверстием на формирование отражения волн [6–13].

В работе [14] исследована система выпуска с боковым отверстием в трубопроводе двухтактного ДВС и определены возможности настройки системы выпуска, показанной на рис. 1, б. Сущность такого способа настройки заключается в том, что волна сжатия, образующаяся при открытии выпускного окна, при проходе отверстия в трубопроводе частично отражается и преобразуется в волну разрежения, которая возвращается в цилиндр ДВС до закрытия продувочных окон. Частично волна сжатия проходит в трубопровод далее и отражается от его тупикового конца. Отраженная волна сжатия возвращается в цилиндр до закрытия выпускного окна.

Таким образом, настраивая геометрические характеристики трубопровода с отверстием, можно организовать у выпускного окна последовательно приход волн разрежения и сжатия с амплитудами, позволяющими улучшить газообмен двухтактного ДВС. Такой же эффект достигается и в системах выпуска с расширительной камерой, у которой диаметр обычно примерно в 3 раза больше, чем в начальной части трубопровода, что значительно увеличивает габаритные размеры и массу системы выпуска.

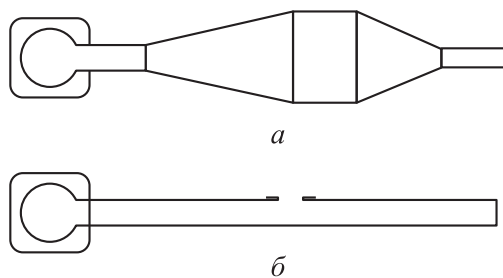


Рис. 1. Принципиальные схемы систем выпуска двухтактных поршневых ДВС с расширительной камерой (а) и боковым отверстием в трубопроводе (б)

В работе [14] настройка выпускного тракта с отверстием в трубопроводе позволила получить литровую мощность ДВС с воздушным охлаждением, равную 55,9 кВт/л (76 л.с./л) при частоте вращения коленчатого вала (далее частота вращения) $n = 6000...6500 \text{ мин}^{-1}$. Между тем, литровая мощность ДВС с воздушным охлаждением Rotax 503 ULDCDI, оснащенного системой выпуска с расширительной камерой, в зависимости от варианта исполнения составляет 62,5...73,6 кВт/л (85...100 л.с./л) при $n = 6500 \text{ мин}^{-1}$.

В работах [15, 16] система выпуска, показанная на рис. 1, б, усовершенствована. Участок трубы после выпускного отверстия 2 дополнен расширяющимся конусом 3, переходящим в цилиндрическую трубу 4, завершающуюся сужающимся конусом 5 (рис. 2).

Если в варианте системы выпуска, показанной на рис. 1, б, волна разрежения образуется исключительно при взаимодействии исходной волны сжатия с боковым отверстием, то в комбинированном варианте (см. рис. 2) в расширяющемся конусе появляется дополнительная волна разрежения, которая увеличивает суммарное разрежение у выпускного окна 1, тем самым улучшая степень очистки цилиндра ДВС от остаточных газов.

Дальнейшее движение волны сжатия происходит как и у варианта с расширительной камерой, за исключением того, что при прохождении волны сжатия, отраженной от сужающегося конуса, через выпускное отверстие происходит некоторое ослабление ее интенсивности. Несмотря на это, к выпускному окну подходит волна сжатия достаточной интенсивности, чтобы предотвратить выброс топливно-воздушной смеси, попавшей в систему выпуска в процессе продувки, заталкивая ее обратно в цилиндр. Как описывают авторы работ [15, 16], такая система выпуска позволяет повысить мощность и экономичность ДВС, а также уменьшить габаритные размеры системы выпуска двухтактного ДВС. Однако количественную оценку эффекта авторы не привели.

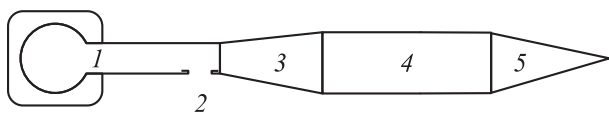


Рис. 2. Принципиальная схема системы выпуска двухтактного поршневого ДВС с отверстием в трубопроводе и дополнительной расширительной камерой

При рассмотрении возможности создания конкурентоспособной по массе системы выпуска с индивидуальными выпускными трубами двухцилиндрового авиационного ДВС необходимо уточнить, что масса каждой из них должна быть примерно в 2 раза меньше, чем у системы выпуска с единой на два цилиндра расширительной камерой. Хотя в приведенных выше работах, связанных с исследованием систем выпуска с боковым отверстием в трубопроводе, и упомянуты возможности снижения массы, показатели ДВС в рамках данного условия не сравнивались. В дополнение к этому следует учесть, что предыдущие исследования проводились с ДВС, имевшими относительно низкие по сравнению с показателями современных авиационных ДВС значения литровой мощности.

На кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Уфимского университета науки и технологий проведены исследования с целью устранения этого недочета. Испытания выполнены на экспериментальном двухтактном двигателе V-образной компоновочной схемы.

Предварительно выполнены моделирование процесса выпуска с использованием программного обеспечения Simcenter STAR-CCM+ и экспериментальная юстировка полученных результатов на моторном стенде для определения геометрических параметров настроенной системы выпуска. В качестве примера на рис. 3 приведен результат моделирования одного из геометрических вариантов системы выпуска, приведенной на рис. 2.

Анализ данных моделирования показал, что лучшие результаты в заданных условиях имеет вариант, в котором положение отверстия в га-

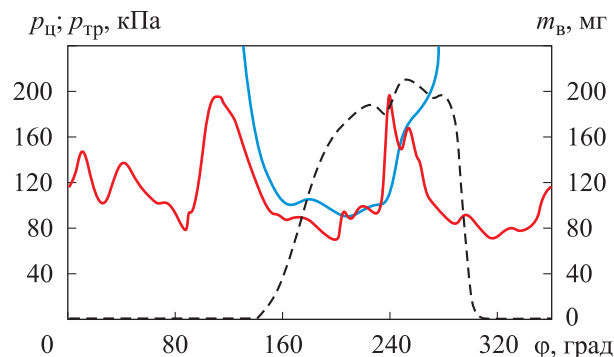


Рис. 3. Зависимости давления в трубе около выпускного окна $p_{тр}$ (—), давления $p_{ц}$ (—) и массы воздуха $m_{в}$ (---) в цилиндре ДВС, оснащенного системой выпуска с отверстием в трубопроводе и дополнительной расширительной камерой, от угла поворота коленчатого вала φ

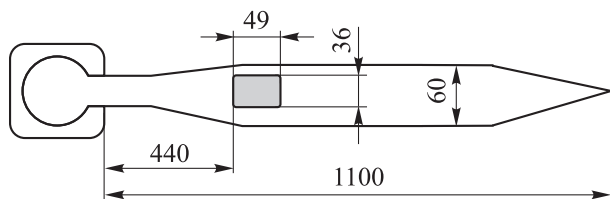


Рис. 4. Схема настроенного выпускного газозвдушного тракта двухтактного ДВС с отверстием в трубопроводе

зовоздушном тракте расположено в месте, где расширяющийся конус переходит в цилиндрическую трубу (рис. 4).

Цель работы — определение возможности снижения массы системы выпуска ДВС с отверстием в трубопроводе до значения, не превышающего массу системы выпуска рядного ДВС с единой на два цилиндра трубой и расширительной камерой, при сохранении максимальной мощности.

Для достижения поставленной цели проведено экспериментальное исследование работы ДВС по внешней скоростной характеристике с настроенной системой выпуска с боковым отверстием в трубопроводе и того же ДВС, оснащенного настроенными системами выпуска с расширительными камерами.

Объект исследования. Экспериментальный ДВС разработан для авиационного применения на базе узлов и агрегатов рядного двигателя РМЗ-550 производства АО «Русская механика» (г. Рыбинск).

Техническая характеристика экспериментального ДВС

Тип Двухцилиндровый двухтактный
V-образный с углом развала цилиндров 90°
Диаметр цилиндра, мм 76
Ход поршня, мм 61
Охлаждение Принудительное воздушное
Воспламенение Искровое
Топливо Бензин АИ-95
Топливоподача Индивидуальные карбюраторы и обратные клапаны на впуске
Система смазки В смеси с топливом (отношение 1/50)
Частота вращения на взлетном режиме, мин⁻¹ .. 6500

Значения масс испытуемых систем выпуска V-образного двухтактного ДВС и (для сравнения) системы выпуска рядного двухтактного ДВС приведены в таблице. Масса системы выпуска рядного ДВС принята в качестве предельного значения при разработке системы выпуска с отверстием в трубопроводе и дополнительной расширительной камерой. Таким образом, масса системы выпуска, оснащенной двумя индивидуальными настроенными трубами с боковыми отверстиями, не должна была превышать массу системы выпуска с тройником и одной трубой с расширительной камерой.

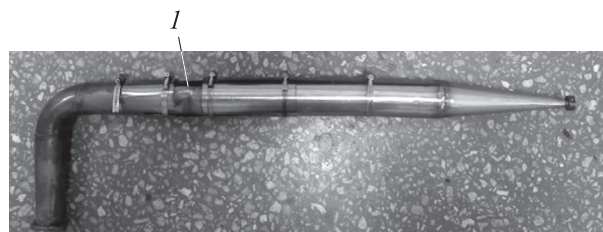
Система выпуска с расширительной камерой производства АО «Русская механика» для рядного двухцилиндрового ДВС показана на рис. 5, а, экспериментальная система выпуска с боковым отверстием 1 в трубопроводе и до-

Значения масс различных систем выпуска

Тип ДВС	Система настройки выпускного газозвдушного тракта	Масса, кг
Рядный двухцилиндровый	Общая труба с расширительной камерой	5,5
V-образный двухцилиндровый	Индивидуальные трубы с расширительными камерами	$2 \times 5,3 = 10,6$
	Индивидуальные трубы с отверстием и дополнительными расширительными камерами	$2 \times 2,5 = 5,0$



а



б

Рис. 5. Внешний вид системы выпуска с расширительной камерой (а) и экспериментальной системы выпуска с боковым отверстием в трубопроводе и дополнительной расширительной камерой (б)

полнительной расширительной камерой — на рис. 5, 6. Оба варианта системы выпуска предусматривают использование отдельной трубы для каждого цилиндра.

Методика эксперимента. Двухтактный ДВС устанавливали на тормозной динамометрический испытательный стенд AVL Dino Perform-80 (рис. 6). Расход топлива фиксировали системой AVL Fuel Balance. Тепловое состояние контролировали подсвечными датчиками температуры с отображением данных через двухканальный измеритель ТРМ-200М. Для охлаждения использовали два осевых вентилятора низкого давления с суммарной мощностью электродвигателей 2,2 кВт.

На ДВС последовательно устанавливали систему выпуска с двумя индивидуальными трубами и расширительными камерами и систему выпуска с двумя экспериментальными индивидуальными трубами с отверстиями и дополнительными расширительными камерами. Внешняя скоростная характеристика ДВС в каждой комплектации снималась в диапазоне частоты вращения $n = 3500 \dots 6500$ мин⁻¹ с шагом 500 мин⁻¹. В каждом режиме ДВС выдерживался в течение 5 мин.

Двигатель запускался электростартером, прогревался до 160 °С и выводился на режимы. Настройка карбюраторов осуществлялась так, чтобы максимальная температура под свечой зажигания не превышала 190...200 °С. Как показали предварительные испытания, при более высокой температуре и частоте вращения $n = 6500$ мин⁻¹ работа ДВС в течение 5 мин и бо-

лее является недопустимой вследствие задигов цилиндропоршневой группы.

Результаты и обсуждение. Зависимости мощности и крутящего момента ДВС с различными настроенными системами выпуска от частоты вращения n приведены на рис. 7. Взлетная мощность ($n = 6500$ мин⁻¹) ДВС с экспериментальной системой выпуска лишь незначительно (до 1,5 %) меньше, чем у двигателя, оснащенного серийными выпускными трубами с расширительной камерой: 33 кВт (44,9 л.с.) против 33,5 кВт (45,5 л.с.). Заметное ухудшение показателей (до 7 %) наблюдается только при $n = 6000$ мин⁻¹. Так как крутящий момент при $n = 6000$ мин⁻¹ оказался выше, чем при $n = 6500$ мин⁻¹, ухудшение показателей при $n = 6000$ мин⁻¹ не должно повлиять на работу ДВС по винтовой характеристике, учитывая квадратичную зависимость потребного крутящего момента от частоты вращения. В диапазоне частоты вращения $n = 3500 \dots 5000$ мин⁻¹ показатели ДВС с экспериментальной системой выпуска оказались лучше, чем у базового варианта.

Зависимости удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n ДВС с базовой и экспериментальной системами выпуска приведены на рис. 8. Как уже упоминалось, регулировка карбюраторов выполнялась так, чтобы температура под свечой не превышала 190...200 °С ни в одном режиме (включая взлетный) в течение 5 мин. Более бедные регулировки позволяют несколько поднять мощность ДВС (приблизительно на 5...10 %), однако уже через 1,0...1,5 мин после выхода на ре-

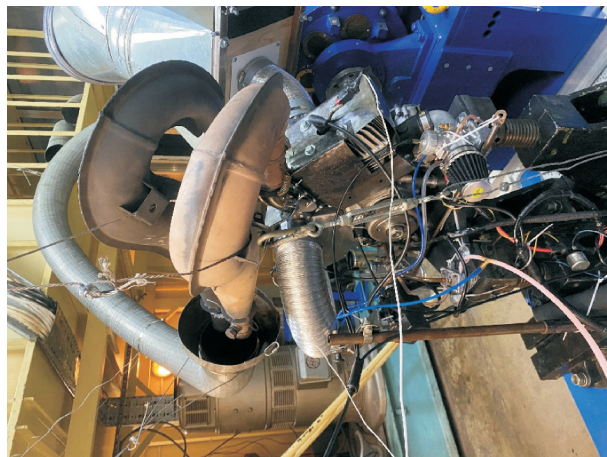


Рис. 6. Внешний вид ДВС с индивидуальными для каждого цилиндра выпускными трубами и расширительными камерами, установленного на испытательном стенде

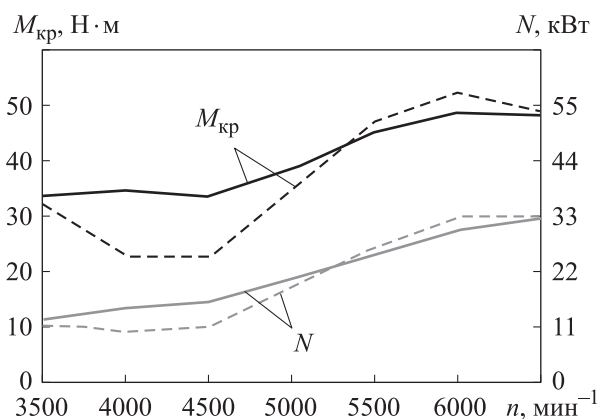
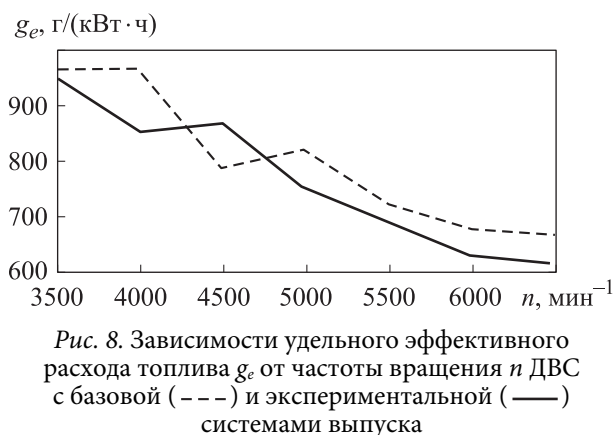


Рис. 7. Зависимости крутящего момента $M_{кр}$ и мощности N ДВС с базовой (штриховые линии) и экспериментальной (сплошные линии) системами выпуска



жим температура достигала указанного предела и продолжала расти. Во избежание перегрева топливно-воздушную смесь приходилось обогащать, причем при использовании серийных труб в большей степени, что отражают кривые удельного эффективного расхода топлива. Тепловая нагрузка ограничивает рост мощности при использовании обоих вариантов систем выпуска.

Выводы

1. Проведено экспериментальное исследование работы двухцилиндрового ДВС V-образной компоновки по внешней скоростной характеристике, снабженного экспериментальной настроенной системой выпуска с использованием эффекта взаимодействия волн сжатия и разрежения с отверстием в стенке трубопровода, и базовой настроенной системой выпуска с применением эффекта отражения волн сжатия и разрежения в конических участках трубопровода с расширительной камерой. Причем масса экспериментальной системы выпуска может быть снижена более чем в 2 раза и не превышать массу системы выпуска рядного ДВС с единой на два цилиндра расширительной камерой.

2. По результатам моторных экспериментов ДВС установлено, что в условиях ограничения по тепловой нагрузке максимальные мощности ДВС с экспериментальной и базовой настроенными системами выпуска различаются не более чем на 1,5 %.

Литература

- [1] Dixon J.C. *The high-performance two-stroke engine*. Haynes Publishing, 2005. 352 p.
- [2] Blair G.P. *Design and simulation of two-stroke engines*. SAE, 1996. 647 p.
- [3] Bell G. *Two-stroke performance tuning*. Haynes Publishing, 1999. 272 p.
- [4] Rotax 503 UL operator's manual. URL: <https://www.easymanua.ls/rotax/503-ul/manual> (дата обращения: 07.10.2025).
- [5] Рудой Б.П., Вахитов Ю.Р., Глухов К.В. и др. Экспериментальное исследование отражения волн конечной амплитуды от отверстия в трубопроводе. В: *Элементы теории рабочих процессов ДВС*. Вып. 1. Уфа, УАИ, 1976, с. 26–30.
- [6] Атанов С.Н., Еникеев Р.Д. Экспериментальное исследование метода повышения коэффициента наполнения четырехтактного двигателя внутреннего сгорания интенсификацией дозарядки. *Вестник УГАТУ*, 2017, т. 21, № 1, с. 38–44.
- [7] Атанов С.Н. Исследование дозарядки четырехтактного двигателя через впускной клапан волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска. *Вестник УГАТУ*, 2013, т. 17, № 3, с. 209–216.
- [8] Атанов С.Н. Форсирование одноцилиндрового четырехтактного двигателя внутреннего сгорания дозарядкой воздухом с использованием волн сжатия, генерируемых в процессе выпуска, в простейших индивидуальных настроенных газо-воздушных трактах без приводных элементов. *Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Двигатель-2018*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, с. 208–218.
- [9] Рудой Б.П., Вахитов Ю.Р., Черноусов А.А. Расчет шума импульсной струи газа. В: *Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей*. Вып. 21. Уфа, УГАТУ, 2007, с. 53–57.
- [10] Рудой Б.П. *Прикладная нестационарная гидрогазодинамика*. Уфа, УАИ, 1988. 182 с.
- [11] Черноусов А.А. Модель взаимодействия волн конечной амплитуды с разветвлением канала. *Ползуновский вестник*, 2006, № 4–1, с. 182–185.
- [12] Rudoy B.P., Vakhitov Y.R., Enikeev R.D. Improving engine performance and noise level, using the ALBEA simulation technique. *Proc. Inst. Mech. Eng. D*, 2004, vol. 218, no. 12, pp. 1447–1453, doi: <https://doi.org/10.1243/0954407042707687>

- [13] Рудой Б.П., Черноусов А.А. Модель взаимодействия волны конечной амплитуды с отверстием в боковой стенке канала. В: *Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей*. Вып. 21. Уфа, УГАТУ, 2007, с. 43–52.
- [14] Глухов К.В. *Использование эффекта взаимодействия волн конечной амплитуды с отверстием в трубопроводе при проектировании и доводке выпускных систем двухтактных ДВС*. Дисс. ... канд. тех. наук. Уфа, 1992. 163 с.
- [15] Рудой Б.П., Галиуллин Ф.Ф., Лобанов Н.В. Способ выпуска потока отработавших газов двухтактного двигателя внутреннего сгорания и глушитель шума. Патент РФ 2099552. Заявл. 12.09.1995, опубл. 20.12.1997.
- [16] Рудой Б.П., Галиуллин Ф.Ф., Лобанов Н.В. Способ организации процесса выпуска выхлопных газов и снижения уровня шума выхлопа двухтактного двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления. Патент РФ 2131518. Заявл. 16.07.1996, опубл. 10.06.1999.

References

- [1] Dixon J.C. *The high-performance two-stroke engine*. Haynes Publishing, 2005. 352 p.
- [2] Blair G.P. *Design and simulation of two-stroke engines*. SAE, 1996. 647 p.
- [3] Bell G. *Two-stroke performance tuning*. Haynes Publishing, 1999. 272 p.
- [4] *Rotax 503 UL operator's manual*. URL: <https://www.easymanuals.com/rotax/503-ul/manual> (accessed: 07.10.2025).
- [5] Rudoy B.P., Vakhitov Yu.R., Glukhov K.V. et al. Experimental study of the reflection of finite-amplitude waves from a hole in a pipeline. V: *Elementy teorii rabochnykh protsessov DVS*. Vyp. 1 [In: Elements of the theory of internal combustion engine operating processes. Iss. 1]. Ufa, UAI Publ., 1976, pp. 26–30. (In Russ.).
- [6] Atanov S.N., Enikeev R.D. Experimental study of a new method of improving charging efficiency 4-stroke internal combustion engine by an intensification of additional charging. *Vestnik UGATU*, 2017, vol. 21, no. 1, pp. 38–44. (In Russ.).
- [7] Atanov S.N. Investigation of the possibility of wave additional charging of the 4-stroke engine by air through an inlet valve by exhaust compression wave. *Vestnik UGATU*, 2013, vol. 17, no. 3, pp. 209–216. (In Russ.).
- [8] Atanov S.N. [Boosting a single-cylinder, four-stroke internal combustion engine by air recharging using compression waves generated during exhaust in simple, individually tuned gas-air tracts without drive elements]. *Sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Dvigatel-2018* [Proc. Int. Sci.-Tech. Conf. Engine-2018]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018, pp. 208–218. (In Russ.).
- [9] Rudoy B.P., Vakhitov Yu.R., Chernousov A.A. [Calculation of noise in a pulsed gas jet]. V: *Voprosy teorii i rascheta rabochnykh protsessov teplovykh dvigateley*. Vyp. 21 [In: Theory and calculation of heat engine operating processes. Iss. 21]. Ufa, UGATU Publ., 2007, pp. 53–57. (In Russ.).
- [10] Rudoy B.P. *Prikladnaya nestatsionarnaya gidrogazodinamika* [Applied non-stationary fluid dynamics]. Ufa, UAI Publ., 1988. 182 p. (In Russ.).
- [11] Chernousov A.A. Model of interaction of finite-amplitude waves with channel branching. *Polzunovskiy vestnik*, 2006, no. 4–1, pp. 182–185. (In Russ.).
- [12] Rudoy B.P., Vakhitov Y.R., Enikeev R.D. Improving engine performance and noise level, using the ALBEA simulation technique. *Proc. Inst. Mech. Eng. D*, 2004, vol. 218, no. 12, pp. 1447–1453, doi: <https://doi.org/10.1243/0954407042707687>
- [13] Rudoy B.P., Chernousov A.A. A model of the interaction of a finite-amplitude wave with an opening in the side wall of a channel. V: *Voprosy teorii i rascheta rabochnykh protsessov teplovykh dvigateley*. Vyp. 21 [In: Theory and calculation of thermal engine operating processes. Iss. 21]. Ufa, UGATU Publ., 2007, pp. 43–52. (In Russ.).
- [14] Glukhov K.V. *Ispolzovanie effekta vzaimodeystviya voln konechnoy amplitudy s otverstiem v truboprovode pri proektirovanii i doводке vypusknnykh sistem dvukhtaktnykh DVS*. Diss. kand. tekhn. nauk [Using the effect of interaction of finite-amplitude waves with an opening in a pipeline in the design and fine-tuning of exhaust systems of two-stroke internal combustion engines. Kand. tech. sci. diss.]. Ufa, 1992. 163 p. (In Russ.).

- [15] Rudoy B.P., Galiullin F.F., Lobanov N.V. *Sposob vypuska potoka otrabotavshikh gazov dvukhtaktnogo dvigatelya vnutrennego sgoraniya i glushitel shuma* [Method of discharging exhaust gases in two-stroke internal combustion engine and silencer]. Patent RU 2099552. Appl. 12.09.1995, publ. 20.12.1997. (In Russ.).
- [16] Rudoy B.P., Galiullin F.F., Lobanov N.V. *Sposob organizatsii protsessa vypuska vykhlopnykh gazov i snizheniya urovnya shuma vykhlopa dvukhtaktnogo dvigatelya vnutrennego sgoraniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method and device for organizing gas exhaust process and reducing exhaust noise level in two-stroke internal-combustion engine]. Patent RU 2131518. Appl. 16.07.1996, publ. 10.06.1999. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 05.11.2025

Информация об авторах

ГАРИПОВ Марат Данилович — доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Уфимский университет науки и технологий (450008, Уфа, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 12, к. 2, e-mail: garry76@mail.ru).

ЕНИКЕЕВ Рустэм Далилович — доктор технических наук, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания». Уфимский университет науки и технологий (450008, Уфа, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 12, к. 2, e-mail: rust_en@mail.ru).

ЗИННАТУЛЛИН Рустемхан Фагитович — младший научный сотрудник кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Уфимский университет науки и технологий (450008, Уфа, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 12, к. 2, e-mail: rz.f@yandex.ru).

МЕЛКОВ Андрей Андреевич — инженер, кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Уфимский университет науки и технологий (450008, Уфа, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 12, к. 2, e-mail: capa.97@mail.ru).

САКУЛИН Роман Юрьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Уфимский университет науки и технологий (450008, Уфа, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 12, к. 2, e-mail: laminar_burn@mail.ru).

ХАЛИЛОВ Эмиль Марсович — младший научный сотрудник, аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Уфимский университет науки и технологий (450008, Уфа, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 12, к. 2, e-mail: emil.halilov.93@mail.ru).

Information about the authors

GARIPOV Marat Danilovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Internal Combustion Engines Department. Ufa University of Science and Technology (450008, Ufa, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 12, Block 2, e-mail: garry76@mail.ru).

ENIKEEV Rustem Dalilovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Internal Combustion Engines Department. Ufa University of Science and Technology (450008, Ufa, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 12, Block 2, e-mail: rust_en@mail.ru).

ZINNATULLIN Rustemkhan Fagitovich — Junior Researcher, Internal Combustion Engines Department. Ufa University of Science and Technology (450008, Ufa, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 12, Block 2, e-mail: rz.f@yandex.ru).

MELKOV Andrey Andreevich — Engineer, Internal Combustion Engines Department. Ufa University of Science and Technology (450008, Ufa, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 12, Block 2, e-mail: capa.97@mail.ru).

SAKULIN Roman Yurievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Internal Combustion Engines Department. Ufa University of Science and Technology (450008, Ufa, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 12, Block 2, e-mail: laminar_burn@mail.ru).

KHALILOV Emil Marsovich — Junior Researcher of «Internal Combustion Engines» Department. Ufa University of Science and Technology (450008, Ufa, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 12, Block 2, e-mail: emil.halilov.93@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Гарипов М.Д., Еникеев Р.Д., Зиннатуллин Р.Ф., Мелков А.А., Сакулин Р.Ю., Халилов Э.М. Экспериментальное исследование двухтактного двигателя, оснащенного выпускной системой с боковым отверстием в трубопроводе. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2026, № 7, с. 97–104.

Please cite this article in English as:

Garipov M.D., Enikeev R.D., Zinnatullin R.F., Melkov A.A., Sakulin R.Y., Khalilov E.M. Experimental study of the two-stroke engine equipped with a side outlet in the exhaust system pipeline. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2026, no. 7, pp. 97–104.