

## ВЫХЛОПНЫЕ УСТРОЙСТВА НАЗЕМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ЗАКРУТКОЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА

Рассматриваются вопросы повышения эффективности энергетических установок, а именно двигателей внутреннего сгорания. Обосновывается актуальность применения различных вихревых устройств для увеличения мощности, производительности, повышения экономичности и снижения токсичности продуктов сгорания этих двигателей. Приводится обзор работ, посвященных повышению эффективности двигателей, показаны преимущества и недостатки ранее предложенных способов. Представлено выхлопное устройство для двигателя внутреннего сгорания, позволяющее повысить мощность и снизить удельный расход топлива. Результаты, представленные в работе, полезны для создания новых и совершенствования существующих устройств для повышения эффективности энергетических установок.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, эффективность двигателя, выхлопной канал, закрутка потока, эжекция.

В последнее время особенно актуальными становятся работы по повышению эффективности (увеличению мощности, производительности, повышению экономичности и снижению токсичности продуктов сгорания) энергетических установок, а именно двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и авиационных газотурбинных (ГТД) и турбовальных (ТВД) двигателей [1–4]. Активно ведутся работы по созданию вихревых устройств, улучшающих процесс приготовления топливной смеси в ДВС (вихревые карбюраторы), процесс воспламенения топлива, процесс горения в камере сгорания ДВС и ГТД, процесс выпуска отработавших газов и т.п. Рассмотрим некоторые устройства, использующие вихревые течения в выхлопных каналах и повышающие эффективность работы ДВС и ТВД.

Повысить эффективность ДВС можно, снизив давление на оси выхлопной трубы, что будет приводить к более интенсивному отводу продуктов сгорания из полости цилиндра двигателя. За счет разности давлений за поршнем двигателя и на оси выхлопного устройства газ из полости цилиндра поступает в это устройство, а из него — в атмосферу. При постоянных частоте вращения и отбираемой мощности расход продуктов сгорания через выхлопное устройство двигателя будет величиной постоянной, зависящей от отношения давлений в цилиндре и на выходе выхлопной трубы.

На обеспечение выхлопа затрачивается энергия, поэтому, если снизить давление выхлопных газов на срезе выхлопной трубы, меньшим окажется давление в полости цилиндра на выхлопе. Как следствие меньшими окажутся потери энергии на выхлопе. Снижение потерь энергии приведет

к увеличению мощности двигателя, либо удельный расход топлива, затрачиваемый на обеспечение данного режима, понизится. Уменьшение расхода топлива неминуемо приведет к снижению токсичности выхлопных газов ДВС.

Достигнуть понижения давления на оси выхлопной трубы можно несколькими способами, например:

— по принципу прямоструйного эжектора за счет увеличения осевой составляющей скорости газового потока;

— по принципу вихревого эжектора за счет придания вращательного движения потоку газа.

В 1972 году в Великобритании было создано устройство для отвода выхлопных газов ДВС [5], основанное на первом из вышеперечисленных способов. Оно содержит выпускной участок выхлопной трубы с раструбом, установленным на конце трубы (рис. 1а). Недостатком этого устройства является то, что выхлопные газы дополнительно отсасываются из выхлопной трубы только при движении транспортного средства, что снижает эффективность работы устройства. В дальнейшем подобное устройство помещалось в открытый с торцов цилиндрический кожух (рис. 1б) и дополнялось конусом, обращенным вершиной к концу трубы и размещенным в этом кожухе [6]. Однако разрежение, создаваемое потоком обтекающего устройство воздуха, было незначительным из-за неблагоприятного расположения трактов, по которым движутся потоки воздуха и газа (рис. 1).

В 1977 году югославский инженер Андраш Ковач Осколаш предложил устройство для отвода выхлопных газов, способное значительно повысить эффек-

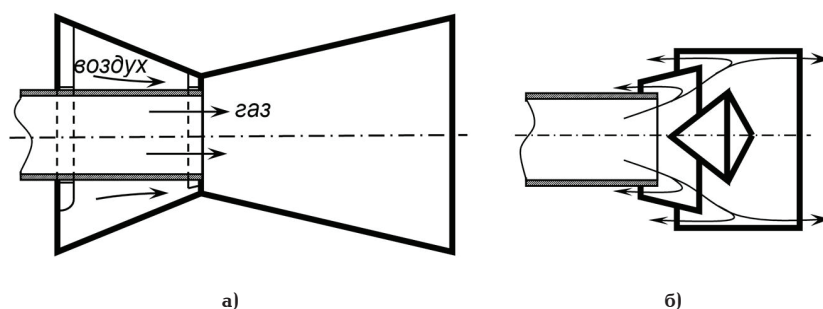


Рис. 1. Устройства для отвода выхлопных газов:  
а) автор П. М. Арензана; б) автор А. В. Пшеницин

тивность ДВС не только при движении транспортного средства, но и при его остановке [7]. Указанная цель достигается тем, что на конце выпускного участка выхлопной трубы 1 (рис. 2) установлен раструб 2, заключенный в открытый с торцов цилиндрический кожух 3. В последнем размещен также конус 4, обращенный вершиной к концу трубы 1. Между раструбом 2 и конусом 4 установлена коническая обечайка 5, обращенная большим основанием в сторону конуса 4. Раструб, обечайка и конус сопряжены с кожухом при помощи перемычек 6. Кроме того, угол, заключенный между образующей и большим основанием обечайки  $\alpha$ , может быть больше соответствующих ему углов раструба  $\alpha'$  и конуса  $\alpha''$ . Осевые расстояния между большими основаниями каждой пары смежных деталей: раструба, обечайки и конуса  $b$  и  $c$  могут быть выполнены меньше высоты, соответствующей охватываемой детали  $e$  и  $a$ . Диаметры больших оснований раструба, конуса и обечайки могут быть равны между собой, а расстояние между вершиной конуса и плоскостью, проходящей через большее основание обечайки, может быть равно разности радиусов внутренней поверхности цилиндрического кожуха  $R$  и большего основания обечайки  $r$ .

Выхлопные газы, поступающие из ДВС, проходят по выхлопной трубе 1 (рис. 2) и попадают во внутреннюю полость кожуха 3. Поток воздуха, проникающий при движении транспортного средства через открытые торцы кожуха 3, создает разрежение в зоне больших оснований раструба 2, обечайки 5 и конуса 4, что способствует эффективному удалению выхлопных газов из выхлопной трубы. При работе ДВС при неподвижном транспортном средстве выхлопные газы проходят между стенками раструба 2, обечайки 5 и конуса 4 со скоростью большей, чем в выхлопной трубе, за счет выбора соответствующих углов конусности и расстояний между раструбом 2, обечайкой 5 и конусом 4. Создаваемое выхлопными газами разрежение удаляет газ из выхлопной трубы и подсасывает окружающий воздух в полость кожуха 3, что дополнительно снижает температуру выхлопных газов и их концентрацию.

Однако эффективность устройств, работающих по принципу прямоструйного эжектора, не столь велика. Большого эффекта можно достигнуть, применяя устройства, работающие по принципу вихревого эжектора.

В 1988 году И. Г. Шаболиным из Тольяттинского политехнического института было создано устройство для отвода отработавших газов ДВС транспортного средства [8]. Оно позволяет повысить

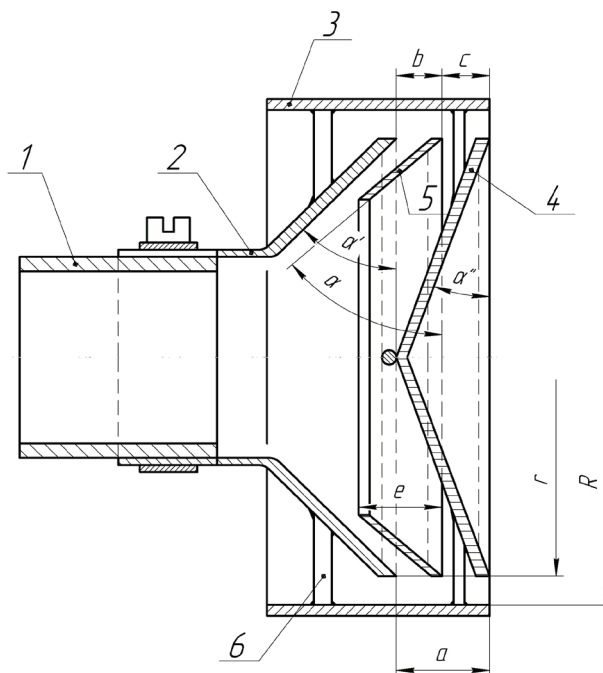
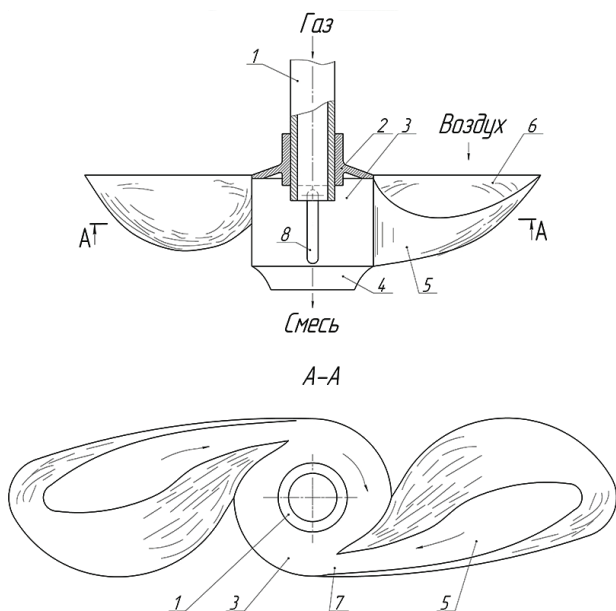
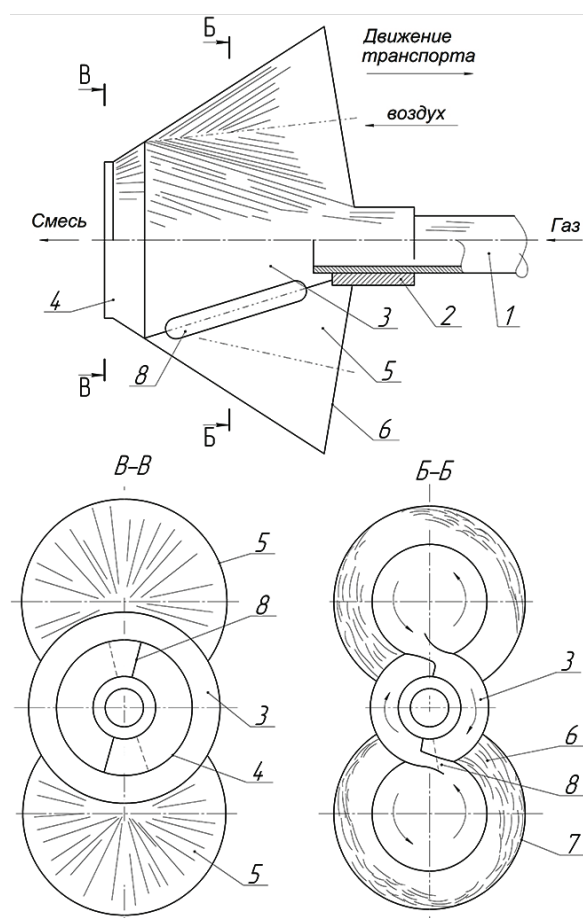


Рис. 2. Устройство для отвода выхлопных газов  
А. К. Осколаша:  
1 — выхлопная труба; 2 — раструб;  
3 — цилиндрический кожух; 4 — конус;  
5 — коническая обечайка; 6 — перемычка

эффективность работы двигателя за счет усиления эффекта эжекции при движении транспортного средства. Устройство содержит (рис. 3) выхлопную трубу 1 и воздухозаборник 2, который, по меньшей мере, частично охватывает ее с зазором и образует вместе с ней вихревой эжектор, у которого камера 3 смешения с выходным отверстием 4 установлена соосно с выхлопной трубой 1. Воздухозаборник 2 выполнен в виде активного сопла эжектора, а выхлопная труба 1 выполнена в виде пассивного сопла и ориентирована в сторону, противоположную движению транспортного средства. Воздухозаборник 2 выполнен в виде тупиковых ловушек 5, каждая из которых ориентирована впускным отверстием 6 по ходу транспортного средства и снабжена боковым выпускным каналом 7, причем каналы всех ловушек подключены к камере 3 смешения по касательной через щелевые отверстия 8 в ее стенке. Ловушки 5 могут быть выполнены в виде раковин (рис. 3) или в виде конусов (рис. 4). При этом диаметр камеры 3 смешения в 2...4 раза больше



**Рис. 3. Устройство для отвода отработавших газов И. Г. Шаболина с ловушками в виде раковин:**  
 1 — выхлопная труба; 2 — воздухозаборник;  
 3 — камера смешения; 4 — выходное отверстие;  
 5 — тупиковые ловушки в виде раковин;  
 6 — впускные отверстия; 7 — боковые выпускные каналы;  
 8 — щелевые отверстия



**Рис. 4. Устройство для отвода отработавших газов И. Г. Шаболина с ловушками в виде конусов:**  
 1 — выхлопная труба; 2 — воздухозаборник;  
 3 — камера смешения; 4 — выходное отверстие;  
 5 — тупиковые ловушки в виде конусов;  
 6 — впускные отверстия; 7 — боковые выпускные каналы;  
 8 — щелевые отверстия

диаметра выхлопной трубы 1, а выходное отверстие 4 камеры 3 смешения равно  $0,5...0,7$  диаметра камеры 3 смешения.

Устройство работает следующим образом (рис. 3). При движении транспортного средства выхлопные газы двигателя отводятся через выхлопную трубу 1 и поступают в камеру 3 смешения, а из последней через выходное отверстие 4 отводятся в атмосферу. Одновременно через впускные отверстия 6 ловушек 5 захватывается набегающий поток воздуха, который сжимается в полости выпускного канала 7 и подается через щелевые отверстия 8 в камеру 3 смешения, создавая в последней вихревое движение воздуха с разрежением в приосевой зоне. При встрече воздуха с выхлопными газами они захватываются вихревым потоком воздуха и в виде смеси отводятся через выходное отверстие 4 камеры 3 смешения.

Вихревое движение воздуха создает пониженное давление на оси потока, которое понижает гидравлическое сопротивление выхлопного тракта двигателя и способствует дополнительному отсасыванию продуктов сгорания из выхлопной системы двигателя. Все это приводит к улучшению эффективных показателей ДВС во время движения транспортного средства. Форма ловушек воздухозаборника в виде раковин (рис. 3) или конусов (рис. 4) принципиально не сказывается на получаемом эффекте.

Недостаток данного выхлопного устройства заключается в том, что проявление эффекта эжекции выхлопных газов происходит только во время движения транспортного средства в сторону, противоположную выходу потока смеси газов (обычно вперед), а во время стоянки или движения задним ходом устройство не работает. Кроме того, воздухозаборник, выполненный в виде тупиковых ловушек, создает дополнительное аэродинамическое сопротивление как при движении транспортного средства вперед, так и при движении в противоположном направлении. Это снижает эффективность работы устройства, а в случае движения задним ходом даже ухудшает эффективность ДВС.

Вопросы, связанные с дополнительным аэродинамическим сопротивлением выхлопного устройства при движении транспортного средства, удалось решить инженеру Ю.С. Дрожжину, который предложил свою конструкцию устройства для выпуска отработавших газов ДВС [9].

Устройство (рис. 5) содержит трубчатый элемент 1, насаженный на выхлопную трубу 2 с помощью внутренней насадки 3. Насадка 3 закреплена внутри трубчатого элемента 1 с помощью ребер-лопастей 4, закрепленных по спирали на внутренней суживающейся части трубчатого элемента. При движении автомобиля воздушный поток захватывается трубчатым элементом 1, закручивается с помощью ребер-лопастей 4, увлекая с собой отработавшие газы, выходящие из выхлопной трубы 2, и вместе они эжектируются через расширяющуюся часть трубчатого элемента 1, создавая тем самым условия для дополнительного отсоса выхлопных газов из глушителя. Таким образом, повышение эффективности работы ДВС происходит за счет вихревого эффекта.

Но и устройство Дрожжина имеет ряд недостатков. Выхлопное устройство засоряет окружающую среду твердыми и каплеобразными частицами, выбрасываемыми из выхлопной трубы при дополнительном отсосе отработавших газов из глушителя. При этом происходит еще снижение мощности двигателя внутреннего сгорания из-за увеличения

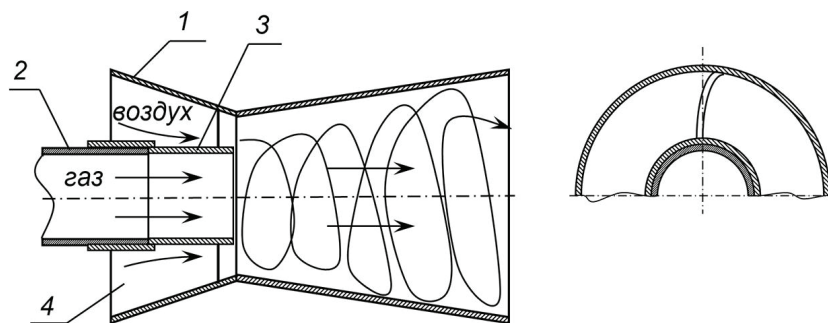
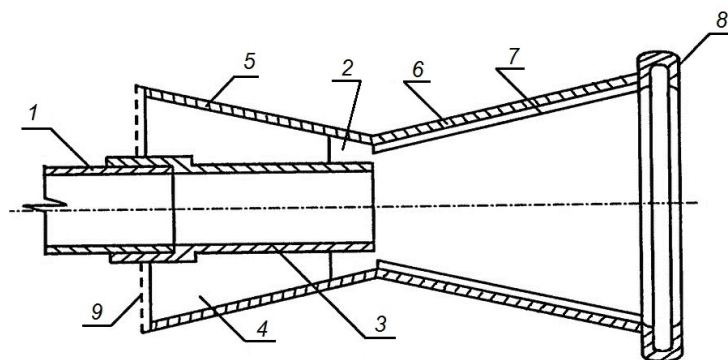
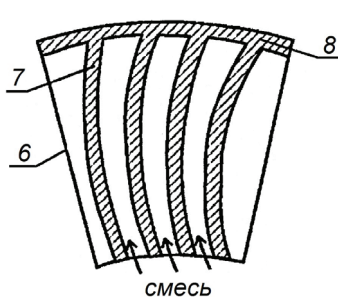


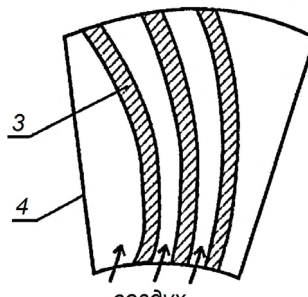
Рис. 5. Выхлопное устройство Ю. С. Дрожжина:  
1 — трубчатый элемент; 2 — выхлопная труба;  
3 — внутренняя насадка; 4 — ребра-лопаст



а)



б)



в)

Рис. 6. Выхлопное устройство Н. С. Кобелева,  
В. Я. Котельникова и И. С. Захарова:

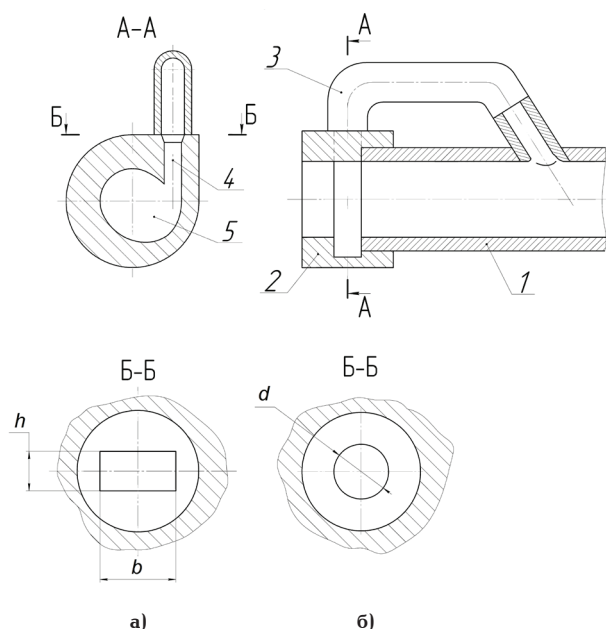
- а) общий вид устройства в продольном разрезе;  
б) расположение ребер-лопастей на внутренней насадке;  
в) развертка расширяющейся части трубчатого элемента;  
1 — выхлопная труба; 2 — трубчатый элемент; 3 — внутренняя насадка;  
4 — ребра-лопаст; 5 — суживающаяся часть трубчатого элемента;  
6 — расширяющаяся часть трубчатого элемента;  
7 — винтообразные канавки;  
8 — круговая канавка; 9 — металлическая сетка

аэродинамического сопротивления трубчатого элемента, что обусловлено значительным поступлением в него пыли.

Устранить указанные недостатки позволяет устройство для выпуска отработавших газов Н. С. Кобелева, В. Я. Котельникова и И. С. Захарова [10]. Данное устройство (рис. 6) состоит из выхлопной трубы 1, на которую насажен с помощью внутренней насадки 3 трубчатый элемент 2. Насадка закреплена с помощью ребер-лопастей 4 внутри трубчатого элемента. Ребра-лопасты установлены внутри суживающейся части 5 трубчатого элемента по спирали с кривизной, имеющей положительное

направление вращения винтовой линии. На входе суживающейся части трубчатого элемента имеется металлическая сетка 9. Внутренняя поверхность трубчатого элемента 2 по его расширяющейся части 6 имеет расположенные продольно канавки 7, выполненные по винтовой линии с отрицательным направлением вращения. Профиль этих канавок выполнен в виде «ласточкина хвоста». На срезе расширяющейся части трубчатого элемента 2 винтообразные канавки переходят в круговую канавку 8.

Воздух, захваченный суживающейся частью трубчатого элемента 5, проходит через металлическую сетку 9 и предварительно очищается от пыли.



**Рис. 7. Выхлопное устройство для снижения потерь в выхлопных каналах:**

**а) сопло прямоугольного сечения;**  
**б) сопло круглого сечения;**

**1 — выхлопная труба; 2 — завихритель; 3 — трубопровод;**  
**4 — сопло; 5 — камера завихрителя**

Далее, проходя по каналам между ребрами-лопастями 4, воздушный поток закручивается против часовой стрелки. Закрученный поток воздуха увлекает за собой выхлопные газы, выходящие из внутренней насадки 3, и попадает в расширяющуюся часть 6. Там смесь воздуха и выхлопных газов с загрязнениями продолжает перемещаться с вращением продольно к выходу по винтообразным канавкам 7, имеющим закрутку по часовой стрелке.

В месте соединения суживающейся 5 и расширяющейся 6 частей трубчатого элемента на срезе выхлопной трубы 1 образуется зона разряжения за счет контакта вращающегося против часовой стрелки воздушного потока и вращающейся по часовой стрелке смеси воздуха и выхлопных газов. Наличие зоны пониженного давления позволяет более интенсивно отсасывать выхлопные газы из трубы 1, что повышает мощность двигателя.

Под действием центробежных сил частицы загрязнителя прижимаются к внутренней поверхности трубчатого элемента и попадают в полости канавок 7, выполненные в форме «ласточка хвоста». Такая форма канавок предотвращает выпадение частичек загрязнителя, и они, накапливаясь, перемещаются в направлении выхода к круговой канавке 8. Накопившиеся в круговой канавке загрязнения автоматически или вручную во время технического обслуживания и ремонта удаляются. Это позволяет предварительно очищать отработанные газы, выбрасываемые в атмосферу двигателем.

Однако устройства Ю. С. Дрожжина и Н. С. Кобелева, В. Я. Котельникова, И. С. Захарова имеют общие недостатки. Главными из них является невозможность создавать разряжение на срезе выхлопной трубы при стоянке транспортного средства и аэродинамическое сопротивление трубчатого конусного элемента.

Для устранения недостатков всех рассмотренных ранее устройств, а следовательно, и повыше-

ния эффективности работы ДВС на всех этапах его функционирования (снижение количества энергии на организацию выхлопа) можно предложить использовать устройства, создающие разряжение по своей оси не с помощью механических устройств, а за счет энергии самой струи выхлопных газов [11]. Такими свойствами будет обладать следующее выхлопное устройство (рис. 7).

Выхлопное устройство для снижения потерь в выхлопных каналах энергетических установок имеет выхлопную трубу 1, завихритель 2, трубопровод 3 подачи части потока выхлопных газов на вход завихрителя 2. Вход завихрителя 2 — это сопло 4, которое может быть, например, прямоугольного (рис. 7а) или круглого сечения (рис. 7б). Устройство с круглым соплом будет несколько менее эффективным, но более простым и технологичным в изготовлении. Площадь проходного сечения сопла должна удовлетворять условию:  $F_c = (0,085...0,1)d_{mp}^2$ , где  $d_{mp}$  — внутренний диаметр выхлопной трубы. Отношение ширины  $b$  и высоты  $h$  прямоугольного сопла должно быть в пределах  $1,8 \leq b/h \leq 2,2$ . Профиль внутренней поверхности камеры 5 завихрителя 2 может быть выполнен тангенциальным или спиральным (по логарифмической спирали, спирали Архимеда и т.п.). Более эффективным будет спиральный ввод газа, однако он и более сложен в производстве. Минимальный радиус спирального соплового ввода должен быть равен внутреннему радиусу выхлопной трубы 1. Во избежание увеличения потерь на трение внутренняя поверхность сопла 4 и камеры завихрителя 5 должны быть тщательно отполированы.

Принцип действия выхлопного устройства следующей (рис. 7). Выхлопные газы, поступающие из цилиндров двигателя по газовадам, попадают в выхлопную трубу 1, где разделяются на два потока. Основная часть отработавших газов проходит через завихритель 2 на выход в окружающую среду, а другая часть газов поступает через трубопровод 3 на вход завихрителя 2. Далее выхлопные газы проходя через сопло 4, сжимаются и, попадая в камеру 5 завихрителя, получают закрутку. Закрученный периферийный поток создает область пониженного давления по оси основной струи, т.е. давление на входе в завихритель 2 падает. Создаваемое закрученным потоком разряжение по оси струи способствует интенсивному отсасыванию выхлопных газов из цилиндров двигателя.

Использование данного устройства позволяет снизить давление в выхлопном канале, что приводит, в свою очередь, к уменьшению количества энергии, затрачиваемой на организацию выхлопа и, соответственно, к повышению мощности двигателя и снижению удельного расхода топлива. Данное устройство может быть применено в различных типах ДВС (карбюраторных, дизельных), входящих в состав всевозможных энергетических установок. Это могут быть двигатели различных транспортных средств (автомобильные двигатели, двигатели тепловозов, морских и речных судов), двигательные установки летательных аппаратов (малоразмерные самолеты, вертолеты), передвижные и стационарные силовые агрегаты, вспомогательные двигательные установки и многое другое. Главным отличием данного выхлопного устройства от ранее рассмотренных является то, что подобное устройство способно давать эффект как во время движения, так и во время стоянки транспортного средства, а так-

же практически не создает дополнительного аэродинамического сопротивления.

В статье было предложено вихревое устройство для ДВС, разработанное с учетом положительного и отрицательного опыта предшествующих исследований в данной области. Показано, что устройство, использующее закрутку потока для создания пониженного давления на оси, позволяет существенно повысить эффективность ДВС, а именно увеличить мощность и снизить удельный расход топлива этого двигателя. Кроме того, даны некоторые рекомендации по проектированию подобных устройств с улучшенными технико-экономическими характеристиками.

#### Библиографический список

- Карнаухов В. Н., Карнаухова И. В. Топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 6 (89). С. 142–147.
- Шемякин А. В., Кожин С. А., Кирилин А. В. Практический опыт и результат работы устройства вихревого действия на двигателе внутреннего сгорания // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2016. № 3 (31). С. 71–76.
- Жорник М. Н., Пиралишвили Ш. А., Могилева К. А. Экспериментальные исследования внутреннего теплообмена в вихревом нагревательном устройстве // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2015. Т. 14, № 2. С. 78–87.
- Кусков А. И. Повышение экономичности поршневых двигателей за счет утилизации энергии выхлопа // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 142–146.
- Пат. GB1278091А Великобритания, МКИ F 01 N 7/20. Вытяжное устройство для выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания / Арэнзана П. М. // Изобретения за рубежом. 1972. № 13.
- А. с. 160818 СССР, МКИ F 23 L 17/02. Дефлектор / Пшеницин А. В. // Открытия. Изобретения. 1964. № 5.
- А. с. 578906 СССР, МКИ F 01 N 7/20. Устройство для отвода выхлопных газов / Ослолаш А. К. // Открытия. Изобретения. 1977. № 40.
- А. с. SU1657685A1, МКИ F 01 N 7/20. Устройство для отвода отработавших газов двигателя внутреннего сгорания транспортного средства / Шаболин И. Г. // Открытия. Изобретения. 1991. № 23.
- А. с. SU1682215A1, МКИ В 60 К 13/04. Устройство инженера Дрожжина Ю. С. для выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания / Дрожжин Ю. С. // Открытия. Изобретения. 1991. № 37.
- Пат. 2227217 Российская Федерация, МКИ F 01 N 7/20. Устройство для выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания / Кобелев Н. С., Котельников В. Я., Захаров И. С. № 2002117390/06; заявл. 28.06.02; опубл. 20.04.04, Бюл. № 11.
- Яковлев А. Б. Исследование и разработка вихревых устройств для снижения потерь в выхлопных каналах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск: Изд-во ОмГТУ, 1996. 18 с.

**КАЛАШНИКОВ Борис Александрович**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение».

SPIN-код: 7574-1323

AuthorID (РИНЦ): 534863

AuthorID (SCOPUS): 6701318766

Адрес для переписки: bkalashnikov1@yahoo.com

**КУЗНЕЦОВ Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение»; главный научный сотрудник Инновационного научно-образовательного центра «Космическая экология» при ОмГТУ.

SPIN-код: 1763-0468

AuthorID (РИНЦ): 161955

Адрес для переписки: vik.kuznetzov@yandex.ru

**ЯКОВЛЕВ Алексей Борисович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Авиа- и ракетостроение».

SPIN-код: 8194-5800

AuthorID (РИНЦ): 488687

ORCID: 0000-0002-1987-2138

AuthorID (SCOPUS): 56503089200

ResearcherID: E-7451-2014

Адрес для переписки: yakovlev@omgtu.ru

#### Для цитирования

Калашников Б. А., Кузнецов В. И., Яковлев А. Б. Выхлопные устройства наземных энергетических установок с закруткой газового потока // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 19–24. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-19-24.

Статья поступила в редакцию 18.09.2018 г.

© Б. А. Калашников, В. И. Кузнецов, А. Б. Яковлев