

УДК 621.43

СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЧАСТИ ЦИЛИНДРОВ

Бердников А.А., Мингазов С.Р., Ерошкин М.А., Чувайн С.Н.

*ФГКВОУ ВО «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации»,
Пермь, e-mail: aa-berdnikov@mail.ru*

В статье рассматриваются способы повышения экономических показателей двигателей внутреннего сгорания. Более подробно рассматривается способ отключения части цилиндров при работе двигателя на режимах частичных нагрузок и холостом ходу. Рассмотрены факторы, формирующие экономичность при отключении части цилиндров. Предлагаются конструкции системы питания двигателя с возможностью отключения части цилиндров и отключателя подачи топлива, рассмотрена их работа. Основными недостатками систем с отключением части цилиндров являются неравномерность крутящего момента и переохлаждение двигателя при его работе с отключенными цилиндрами, причем чем больше отключается цилиндров, тем существеннее эти недостатки. Для исключения указанных недостатков может быть использована методика последовательного отключения части цилиндров с возможностью работы двигателя на режимах с 20–80 % мощности.

Ключевые слова: экономичность двигателей, рабочий цикл, отключение цилиндров, система питания

THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE ENGINE CAN BE SWITCHED OFF OF THE CYLINDERS

Berdnikov A.A., Mingazov S.R., Eroshkin M.A., Chuvain S.N.

Federal state official military establishment of higher education «Perm military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation», Perm, e-mail: aa-berdnikov@mail.ru

This article discusses ways to improve the economic performance of internal combustion engines. In more detail, a method of disconnection of the cylinders when the engine is running at partial load conditions and idle. The factors shaping efficiency at switching-off of the cylinder. The proposed design of the engine fuel system with disconnection of the cylinders and the fuel supply disconnector, reviewed their work. The main disadvantages of systems with turning off of the cylinders is uneven torque and engine hypothermia while operating with reduced cylinders, and, the engine is switched off more, the more significant these flaws. To eliminate these drawbacks of the technique of sequential shutdown of cylinders of the engine to operate on a 20–80 % power modes can be used.

Keywords: efficiency motors, duty cycle, engine off, the power supply system

Экономичность поршневых двигателей внутреннего сгорания во многом зависит от режимов их работы. Оптимальных экономических показателей двигателя достигают при работе на номинальном или близком к нему режимах, но на частичных нагрузках и холостом ходу эффективность работы двигателей заметно ухудшается. Опыт эксплуатации транспортных средств показывает, что основу эксплуатационных режимов составляют режимы холостого хода и малых нагрузок, поэтому рассматриваемая проблема заслуживает внимания.

Как известно, часовой расход топлива и эффективная мощность находятся в прямой зависимости:

$$G_T = N_e \cdot g_e, \quad (1)$$

где G_T – часовой расход топлива;
 N_e – эффективная мощность двигателя;
 g_e – удельный расход топлива.

Следовательно, с уменьшением эффективной мощности двигателя уменьшается и часовой расход топлива. Однако на режимах холостого хода и малых нагрузок снижение эффективной мощности просто

необходимо, так как двигатель становится «недогруженным», в результате удельный расход топлива оказывается в 1,5–5 раза выше, чем на режиме номинальной мощности [1]. Поэтому при эксплуатации двигателя на режимах холостого хода и малых нагрузок необходимо отключать часть цилиндров и стремиться к тому, чтобы на скоростной характеристике показатели эффективной мощности всегда приближались к показателям минимального удельного расхода топлива. Как же при работе двигателя можно изменять эффективную мощность?

Проанализируем формулу эффективной мощности двигателя:

$$N_e = \frac{V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot \tau} \cdot \frac{H_u}{\alpha \cdot l_0} \cdot \rho_k \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_m, \quad (2)$$

где V_h – рабочий объем одного цилиндра двигателя;
 i – число цилиндров двигателя;
 n – частота вращения коленчатого вала двигателя;
 τ – коэффициент тактности двигателя;
 H_u – низшая теплота сгорания топлива;
 α – коэффициент избытка воздуха;

l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг воздуха;
 ρ_k – плотность заряда на впуске в цилиндр двигателя;
 η_v – коэффициент наполнения цилиндров двигателя;
 η_i – индикаторный коэффициент полезного действия двигателя;
 η_m – механический коэффициент полезного действия двигателя.

Можем заметить, что при работе двигателя без его конструктивных изменений на эффективную мощность существенное влияние оказывают частота вращения коленчатого вала n и число работающих цилиндров двигателя i . Если говорить о частоте вращения коленчатого вала, то ею сложно варьировать для уменьшения мощности с точки зрения экономии, так как при этом будет изменяться скорость автомобиля, к тому же оптимальный расход топлива достигается при

частоте вращения коленчатого вала в пределах 2000–2500 мин⁻¹. Поэтому более эффективным направлением изменения мощности для выхода двигателя на оптимальный режим работы на малых и средних нагрузках является изменение числа работающих цилиндров двигателя без изменения частоты вращения коленчатого вала. Отключение части цилиндров при постоянной частоте вращения коленчатого вала, например, на режимах холостого хода и малых нагрузок, не возникнет «нехватки» эффективной мощности, однако улучшится экономичность двигателя. Более того, механический КПД двигателя при постоянной частоте вращения коленчатого вала растет с повышением эффективной мощности, поэтому если при частичной нагрузке многоцилиндрового двигателя выключить несколько цилиндров, то остальные будут работать при большей нагрузке с лучшим КПД.

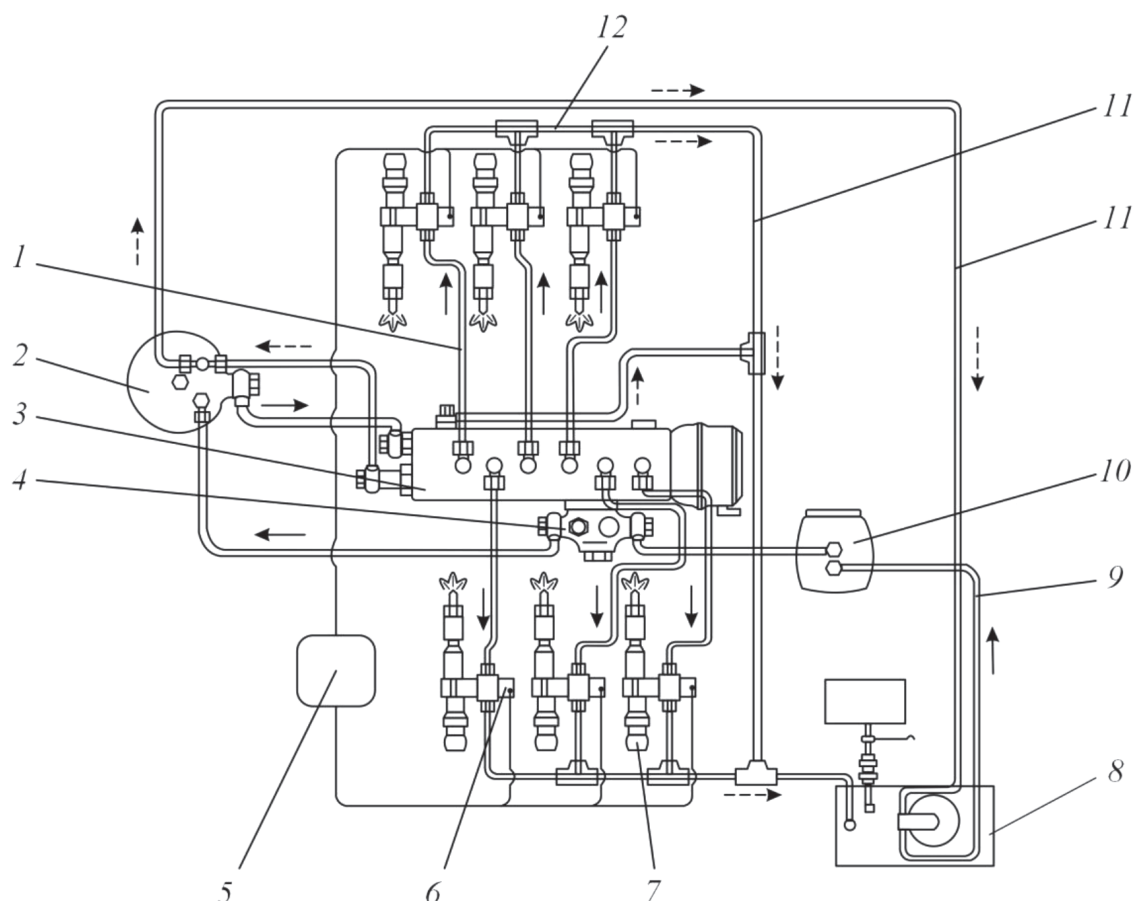


Рис. 1. Система питания двигателя топливом: 1 – топливопровод высокого давления; 2 – фильтр тонкой очистки; 3 – топливный насос высокого давления; 4 – топливный насос низкого давления; 5 – блок управления; 6 – отключатель подачи топлива; 7 – форсунка; 8 – топливный бак; 9 – топливопровод низкого давления; 10 – фильтр грубой очистки; 11 – сливная магистраль; 12 – слив от отключателей

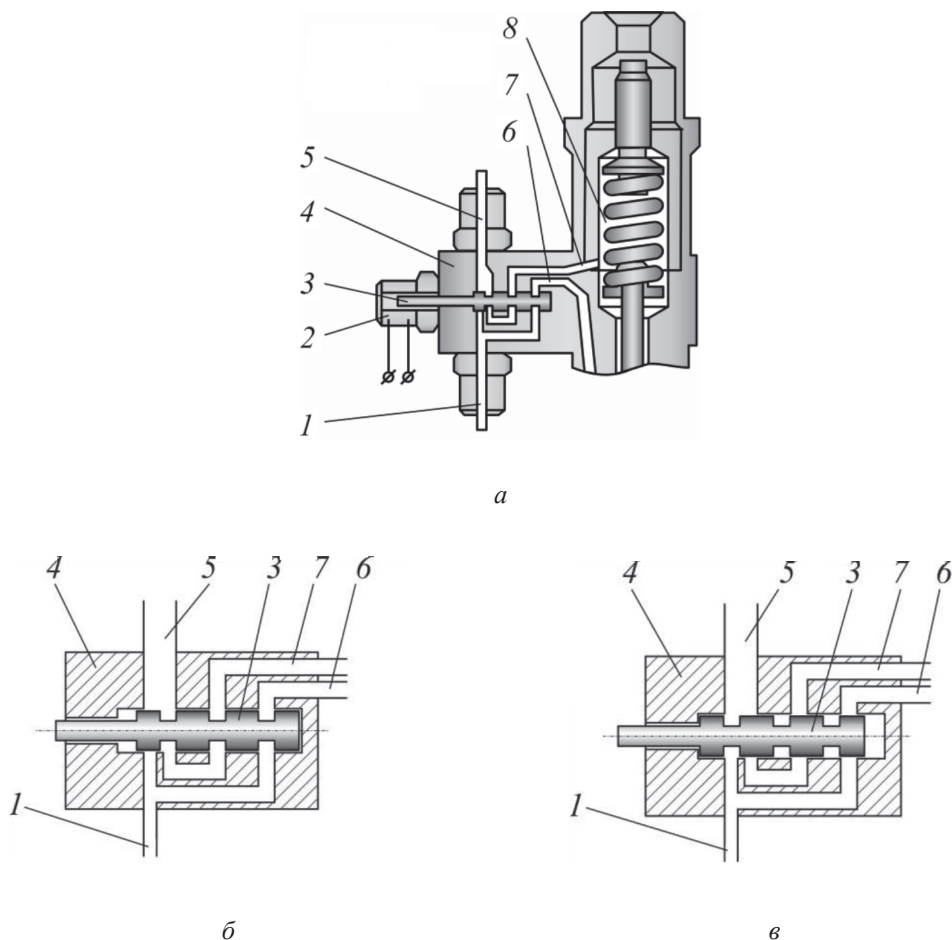


Рис. 2. Отключатель подачи топлива: а – устройство отключателя; б – подача; в – отключение подачи; 1 – подводящий канал; 2 – электромагнит; 3 – золотник; 4 – корпус; 5 – отводящий канал; 6 – канал к распылителю форсунки; 7 – сливной канал; 8 – полость работы пружины

Таким образом, при отключении части цилиндров экономичность формируется несколькими факторами:

- перераспределение свежего заряда, поступающего в цилиндры двигателя, от отключенных цилиндров в «рабочие» – КПД «рабочих» немного возрастает;

- от отключенных цилиндров не нужно отводить тепло, следовательно, система охлаждения начинает работать эффективнее, что немного повышает КПД;

- «рабочие» цилиндры «догружаются» и по скоростной характеристике их эффективная мощность максимально приближается в область кривой минимального удельного расхода топлива, что повышает эффективность использования теплоты в цилиндрах двигателя.

В результате указанных факторов можно добиться экономичности двигателя на 25–30%, особенно при эксплуатации в городском цикле [1].

Следует выделить три основных способа отключения цилиндров [2]:

- отключение подачи топлива – этот способ считается самым простым, так как не влечет за собой существенных конструктивных изменений. Изменения касаются в основном приборов топливоподачи, чтобы была возможность отключения подачи топлива, например, форсунки;

- механическое отключение – способ, предусматривающий разъединение привода клапанов или изменения фаз газораспределения газораспределительного механизма [3, 6], либо остановки поршней путем разрыва жесткой связи между коленчатым валом и поршнями и т.д. Данный способ значительно усложняет конструкцию двигателя;

- электронная система – система, позволяющая управлять электронным впрыском топлива, либо в целом системой управления двигателем. Такая система в зависимости от режима работы двигателя отключает часть

цилиндров, при этом возможно варьирование количества отключаемых цилиндров и их очередность. На сегодняшний день электронная система в том числе используется для реализации первого и второго рассмотренных способов отключения цилиндров.

Целесообразней систему отключения цилиндров применять на многоцилиндровых мощных двигателях, например 6, 8, 12 цилиндров, работа которых особенно неэффективна на режимах холостого хода и малых нагрузок. Реализовать способ отключения подачи топлива можно по предложенной на рис. 1 схеме, на примере шестицилиндрового V-образного дизельного двигателя.

В штатном режиме работы двигателя топливо из топливного бака 8 подается топливным насосом низкого давления 4 и через фильтры грубой 10 и тонкой 2 очистки топлива поступает к топливному насосу высокого давления 3, который в свою очередь подает топливо по трубопроводам 1 через форсунки 7 в цилиндры двигателя.

При переходе двигателя на режимы холостого хода или малых нагрузок, электромагнитные отключатели 6 по команде блока управления 5 переключают подачу топлива к форсункам 7 на слив, следовательно, в зависимости от того, на какой отключатель подается сигнал от блока управления, та форсунка и отключается от подачи. Таким образом, блок управления может отключать форсунки от подачи топлива в запрограммированной в блоке управления последовательности.

Отключатель, для рассмотренной системы, может быть выполнен по представленной на рис. 2 конструкции [4].

Подвод топлива к форсунке для подачи его в цилиндр двигателя осуществляется через штуцер по подводящему каналу 1 в корпусе отключателя 4. При этом золотник 3 переключателя находится в положении, как показано на рис. 2, б. В этом случае топливо поступает по подводящему каналу 6 к распылителю форсунки. Одновременно из полости 8 осуществляется отвод топлива, не поступившего в цилиндр двигателя в результате просачивания между деталями распылителя форсунки. Топливо отводится по сливному каналу 7 отключателя и далее через отводящий канал на слив.

При отключении подачи топлива к форсунке золотник 3, управляемый электромагнитом 2 (рис. 2, а), займет положение, показанное на рис. 2, в. В этом случае подводящий канал 6 к распылителю форсунки и сливной канал 7 перекроются золотником 3, а топливо, поступающее в отключатель, проходит к отводящему каналу 5 на слив.

Как уже отмечалось, рассмотренный способ отключения части цилиндров считается

менее затратным, так как влечет за собой лишь некоторые конструктивные изменения форсунок и установки отключателей. Несложно организовать и управление отключателями. Оно может быть реализовано штатным электронным блоком управления двигателем. Такими блоками на сегодняшний день комплектуются практически все современные двигатели. Однако необходимо заметить, что электронный блок управления в этом случае нуждается в доработке, перепрограммировании. В-первых, рассматриваемый способ отключения части цилиндров путем отключения подачи топлива имеет ряд недостатков:

- увеличение неравномерности крутящего момента, и, как следствие, повышение вибрации двигателя;

- переохлаждение двигателя из-за чрезмерного обеднения горючей смеси на режимах малой частоты вращения коленчатого вала и, как следствие, меньшего выделения теплоты, что влечет к увеличению удельного эффективного расхода топлива при выходе двигателя на режим полной нагрузки.

Решением данных проблем может стать чередование отключаемых цилиндров. Например, отключение трех цилиндров из шести для системы, представленной на рис. 1, можно производить по схеме, представленной на рис. 3 (на рисунке стрелками обозначены включенные цилиндры). В этом случае рабочими цилиндрами остаются цилиндры разных блоков и, учитывая, что на одной шатунной шейке коленчатого вала размещаются два шатуна разных блоков, то усилие от шатунов работающих цилиндров передается к коленчатому валу через все шатунные шейки. Таким образом, чередование отключаемых цилиндров позволит поддерживать в них оптимальную температуру, а отключение цилиндров в разных блоках приведет к уменьшению неравномерности крутящего момента. Рассмотренная схема отключения части цилиндров обеспечивает работу двигателя с 50% от номинальной мощности. Количество отключаемых цилиндров можно изменять в зависимости от режима работы двигателя с понижением мощности от 20 до 80% по методике, изложенной в трудах [1, 5].

Во-вторых, необходимо на блок управления отключателями подачи топлива подавать управляющие сигналы, характеризующие тот или иной режим работы двигателя. Основными характерными показателями рассматриваемых режимов холостого хода и малых нагрузок являются нагрузка на двигатель и частота вращения коленчатого вала. Поэтому параметрами, задающими работу электронного блока, могут быть: частота вращения коленчатого вала, часовой расход топлива, индикаторное давление.

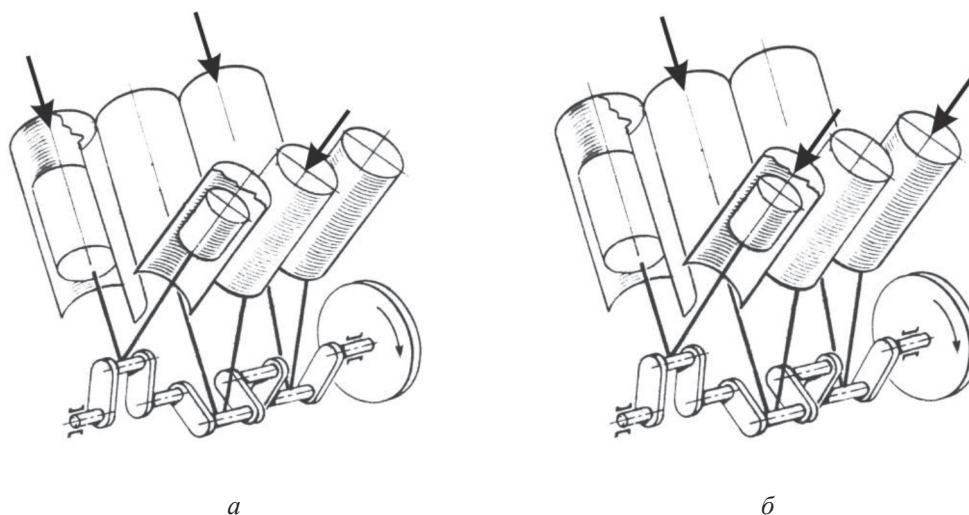


Рис. 3. Схема отключения части цилиндров: а – включены в работу первый, третий и пятый цилиндры; б – включены в работу второй, четвертый и шестой цилиндры

Таким образом, предложенная конструкция системы питания обеспечивает возможность отключения части цилиндров путем отключения подачи топлива отключателями, управляемыми электронным блоком. При правильной организации отключения части цилиндров на режимах холостого хода и малых нагрузок можно повысить экономические показатели двигателя до 20% и снизить вредные выбросы в окружающую среду.

Список литературы

1. Грабовский А.А. ДВС с дискретным изменением мощности [Текст] / А.А. Грабовский // Науч. попул. журн. Автомобильная промышленность. ООО «Издательство Машиностроение», 2014. – № 1. – С. 8–12.
2. Мингазов С.Р., Бердников А.А. Форсунка с устройством отключения подачи топлива [Текст] / С.Р. Мингазов, А.А. Бердников // Сборник научных материалов. Выпуск 2. Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники. Под общ. ред. А.А. Бердникова. – Пермь: ПВИ ВВ МВД России, 2016. – С. 24–27.
3. Никифоров А.П., Бердников А.А., Кожухов О.В. Управление фазами газораспределения двигателя [Текст] / А.П. Никифоров, А.А. Бердников, О.В. Кожухов // Материалы международной научно-практической конференции, 24–25 апр. 2014 г. Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Автородоржнй факультет. – Издат. ПНИПУ, 2014. – С. 162–164.
4. Пат. 165209 Российская Федерация, МПК F 02 M 21/02. Устройство для отключения подачи топлива к форсунке [Текст] / Мингазов С.Р., Бердников А.А., Дмитриев А.И.; заявители Мингазов С.Р., Бердников А.А., Дмитриев А.И.; патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский военный институт внутренних войск Министерства внутренних дел Российской Федерации» – № 2016109343/06; заявл. 15.03.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28. – 1 с.
5. Пат. 2380562 Российская Федерация, МПК F02D 17/02. Способ дискретного изменения мощности ДВС (Варианты) [Текст] / Грабовский А.А.; заявитель и патентообла-

датель Грабовский А.А. № 2008104241/06; заявл. 04.02.2008; опубл. 27.01.10, Бюл. № 3. – 80 с.

6. Пат. 69567 Российская Федерация, МПК7 F01K 7/00. Газораспределительный механизм с изменяющимися фазами газораспределения [Текст] / Бердников А.А., Макаров Н.В., Гурин А.С.; заявители и патентообладатели Бердников А.А., Макаров Н.В., Гурин А.С. № 2007110899; заявл. 23.03.07; опубл. 27.12.07, Бюл. № 36. – 3 с.

References

1. Grabovskij A.A. DVS s diskretnym izmeneniem moshnosti [Текст] / А.А. Grabovskij // Nauch. popul. zhurn. Avtomobilnaja promyshlennost. ООО «Izdatelstvo Mashinostroe-nie», 2014. no. 1. pp. 8–12.
2. Mingazov S.R., Berdnikov A.A. Forsunka s ustroystvom otklucheniya podachi topli-va [Текст] / S.R. Mingazov, A.A. Berdnikov // Sbornik nauchnyh materialov. Vypusk 2. Aktu-alnye voprosy sovershenstvovaniya voennoj i specialnoj tehniki. Pod obshh. red. A.A. Berdnikova. Perm: PVI VV MVD Rossii, 2016. pp. 24–27.
3. Nikiforov A.P., Berdnikov A.A., Kozhuhov O.V. Up-ravlenie fazami gazoraspredele-niya dvigatelya [Текст] / A.P. Nikiforov, A.A. Berdnikov, O.V. Kozhuhov // Materialy mezhu-narodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 24–25 apr. 2014 g. Modernizacija i nauchnye is-sledovaniya v transportnom komplekse. Permskij nacionalnyj issledovatel'skij poli-tehnich-eskij universitet. Avtodorozhnyj fakultet. Izdat. PNIPIU, 2014. pp. 162–164.
4. Pat. 165209 Rossijskaja Federacija, MPK F 02 M 21/02. Ustrojstvo dlja otklucheniya podachi topliva k forsunke [Текст] / Mingazov S.R., Berdnikov A.A., Dmitriev A.I.; zajavi-teli Mingazov S.R., Berdnikov A.A., Dmitriev A.I.; patentoobladel Federalnoe gosudarstvennoe kazennoe voennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professionalnogo ob-razovaniya «Permskij voennyj institut vnutrennih vojsk Ministerstva vnutrennih del Ros-sijskoj Federacii» no. 2016109343/06; zajavl. 15.03.2016; opubl. 10.10.2016, Bjul. no. 28. 1 p.
5. Pat. 2380562 Rossijskaja Federacija, MPK F02D 17/02. Sposob diskretnogo izmeneniya moshhnosti DVS (Vari-anty) [Текст] / Grabovskij A.A.; zajavitel i patentoobladel Grabovskij A.A. no. 2008104241/06; zajavl. 04.02.2008; opubl. 27.01.10, Bjul. no. 3. 80 p.
6. Pat. 69567 Rossijskaja Federacija, MPK7 F01K 7/00. Gazoraspredeletelnyj mehanizm s izmenjajushhimisja fazami gazoraspredele-nija [Текст] / Berdnikov A.A., Makarov N.V., Gurin A.S.; zajaviteli i patentoobladelati Berdnikov A.A., Ma-karov N.V., Gurin A.S. no. 2007110899; zajavl. 23.03.07; opubl. 27.12.07, Bjul. no. 36. 3 p.