

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВС©2011 А. А. Грабовский¹, В. А. Миронов²¹Пензенский государственный университет²ОАО «Пензадизельмаш»

Представлен анализ факторов, определяющих значение экологических и экономических показателей двигателей внутреннего сгорания. Предложены технические решения, направленные на достижение требуемых показателей качества функционирования, как то дискретное изменение мощности ДВС, позволяющее примерно в 2-3 раза снизить количество вредных выбросов, с одновременным улучшением экономических показателей.

Двигатель внутреннего сгорания, интегрированный мотор-генератор, мощность, крутящий момент, удельный расход топлива, экологические показатели.

С ростом транспортного парка специалисты связывают рост загрязнения окружающей среды. Основным источником загрязнения является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). По оценкам специалистов вредные выбросы, приходящиеся на долю транспорта, составляют 1/3 от общего объема.

Анализ многочисленных исследований по режимам работы транспортных ДВС в эксплуатации показывает, что для них характерны, во-первых, частая смена режимов, во-вторых, значительная доля времени работы на режимах холостого хода и малых нагрузках. Так, для двигателей грузовых автомобилей средней грузоподъемности при эксплуатации в городе холостой ход составляет около 20 % времени, а при нагрузке, соответствующей 80 % от максимальной, на данном скоростном режиме – около 40 % времени.

Режим активного холостого хода для двигателей автобусов в городских условиях составляет 30 % от общего времени работы. Загрузка двигателей тракторов типа Т-150К по мощности колеблется в широких пределах: при нагрузке до 50 % двигатель работает примерно 40% времени, столько же при нагрузке 50-65 % и только 20 % времени при нагрузке 70 % и выше.

Все эти данные говорят о значимости работ, направленных на повышение топливной эффективности двигателей при работе на малом газе (холостом ходу), переходных режимах и режимах частичных нагрузок. Они в основном определяют эксплуатационный расход топлива и являются наиболее весо-

мыми с точки зрения расхода топлива и вредных выбросов.

Увеличение удельного расхода топлива при работе ДВС на режимах холостого хода, малых нагрузок и переходных процессах в основном определяется ухудшением смесеобразования, увеличением относительных потерь теплоты в охлаждающую жидкость и масло, температура которых на частичных режимах, как правило, понижается. Также при работе двигателей на малых нагрузках увеличивается относительная доля затрат полезной мощности на преодоление механических сопротивлений, а при работе на холостом ходу вся развиваемая двигателем мощность (15...25 % от расхода по номинальной мощности) расходуется на преодоление трения, газообмен и на привод вспомогательных механизмов. Все отмеченные причины приводят к тому, что удельный расход топлива при работе двигателя на малых нагрузках и холостом ходу в 1,5...5 раз выше, чем при работе на номинальной мощности. Все эти факторы напрямую определяют значения экологических показателей.

Проблема охраны окружающей среды является одной из глобальных общечеловеческих проблем, от решения которой зависит жизнь на Земле, здоровье человечества. Уменьшение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами, выделяемыми автотранспортом, является большой частью проблемы защиты окружающей среды. В табл. 1 приведены данные по содержанию токсических веществ в атмосфере.

Таблица 1. Характеристики режима работы двигателя и показатели токсичности в цикле городского движения (данные автополигона НАМИ)

Режим работы двигателя	Доля режимов, %					По расходу топлива
	По времени	По объему ОГ	По выбросам			
			СО	СН	NO	
Холостой ход	39,5	10	13...25	15...18	0	15
Разгон	18,5	45	29...32	27...30	75...86	35
Установившийся режим	29,5	40	32...43	19...35	13...23	37
Замедление	12,8	5	10...13	23...32	0...15	13

По данным специалистов выбросы автомобильного транспорта в атмосферу составляют до 90 % по окиси углерода и 70 % по окиси азота. В некоторых крупных городах, имеющих наибольшее количество автомобилей на единицу площади, содержание вредных веществ в атмосфере достигло или приближается к опасной для здоровья человека концентрации.

Специалисты и ученые пытаются найти компромисс между снижением токсичности отработавших газов и расходом топлива. Дороговизна конструкторских решений по данным вопросам и присущие им недостатки препятствуют их всеобщему распространению.

Наиболее неблагоприятными с позиции токсичности являются режимы разгона, замедления и холостого хода. Поэтому наличие средств регулирования дорожного движения на городских улицах, решая проблему обеспечения безопасности движения, приводит к увеличению выбросов вредных веществ. Остановки на перекрестках на запрещающий сигнал светофора не только вызывают повышение расхода топлива, но из-за большого скопления автомобилей увеличивают загазованность территорий, приближенных к перекресткам. При этом применение «зеленой улицы» при светофорном регулировании далеко не является спасением.

Вместе с тем существуют и другие способы снижения остроты проблемы. Так, если на время остановки на светофоре автоматизированная система управления (АСУ) на 1-2 мин выключала бы двигатель, расход топлива мог бы уменьшиться на 10 - 15 %, а выбросы вредных веществ – на 10 - 20 %. Кроме того, произошло бы снижение шумового действия. При этом необходимо учитывать, что за две минуты температура ДВС снижается на 5-7°.

Второй способ – это переход на газомоторные топлива (ГМТ). Утверждения специалистов об экологической чистоте газовых ДВС, как правило, основаны на чисто теоретических умозаключениях. На практике результат несколько иной. Бесспорно значительное снижение объема вредных выбросов ДВС, работающих на ГМТ. Это весомый аргумент в пользу газификации наземных транспортных средств (НТС). Но это достигается на ДВС с высокими степенями сжатия (порядка 9-10 и выше), газоинжекторными (инъекционными) системами питания и системами зажигания с соответствующими энергетическими характеристиками параметров. Газоэжекторные системы питания не в состоянии обеспечить требуемую экологическую чистоту, и такие ДВС являются не менее «грязными», чем бензиновые или дизельные.

Анализ различных способов снижения расхода топлива на этих режимах показал, что наиболее эффективным оказывается способ отключения части цилиндров. Для четырехтактных двигателей он позволяет снизить расход топлива на 20...30% на указанных режимах, что выразится в снижении среднеэксплуатационного потребления топлива на 1...5 %. При этом количество вредных выбросов уменьшится в среднем на 50 %.

На сегодняшний день наиболее перспективными и реальными источниками энергии для наземных транспортных средств, отвечающими все более ужесточающимся экологическим требованиям, являются комбинированные и гибридные силовые агрегаты на основе ДВС с оригинальными конструктивными решениями, с отключающимися цилиндрами в зависимости от нагрузки и режима функционирования.

Реализация ДИМ ДВС и оценка экологических параметров

Реализация дискретного изменения мощности (ДИМ) заключается в поочередном отключении цилиндров с соблюдением установленного порядка работы (срабатывание всех цилиндров за два оборота), т. е. реализация «растянутого» порядка работы (срабатывание всех цилиндров за четыре, шесть или двенадцать оборотов) [1, 2]. При эксплуатации транспортного средства на частичных и средних нагрузках, например, в городском цикле, при движении по проселочным дорогам и движении с постоянной скоростью по среднескоростной автомагистрали или при работе двигателя на малом газе (холостом ходу) обеспечивается прекращение подачи топлива в отключаемые цилиндры посредством отключения форсунок, например, с электромагнитным управлением. Это достигается за счет пропуска микропроцессорной системой управления двигателем управляющих импульсов с соблюдением значений фаз газообмена, поочередно, с формированием "растянутого" порядка работы цилиндров ДВС. Шаг пропуска управляющих импульсов между рабочими ходами выражается в соответствующем значении угла поворота коленчатого вала φ , равном $(2\pi t - \pi i)/i$, где t – число (количество) оборотов коленчатого вала двигателя, соответствующее полному циклу срабатывания всех цилиндров двигателя, i – число цилиндров.

Для расширения параметров дискретизации из общего числа цилиндров двигателя формируют основную группу активных цилиндров и одну – две вспомогательные группы с соблюдением вышеуказанной последовательности срабатывания цилиндров в каждой из групп со сдвигом первого условного цилиндра последующей группы относительно первого цилиндра основной группы на угол α . Значение угла α выражается в градусах поворота коленчатого вала между началами одноименных тактов в обычном режиме функционирования двигателя или αk , где k – коэффициент кратности. При этом в каждой группе обеспечивается "растянутый" порядок работы цилиндров ДВС с шагом пропуска между началами рабочих ходов, выражающимся в соответствующем значении угла поворота коленчатого вала φ' , равном $(2\pi t - \pi i)/i + \pi$.

Пояснить сущность предлагаемого способа дискретного изменения мощности ДВС можно на примере четырехтактного пятицилиндрового двигателя, реализация «растянутого» порядка работы которого (рис. 1) заключается в обеспечении поочередного пропуска срабатывания цилиндров. Это обеспечивается путем прекращения подачи топлива в отключаемые цилиндры двигателя посредством управления соответствующими форсунками в зависимости от требуемой мощности на каждом обороте коленчатого вала, т. е. для пятицилиндрового, четырехтактного ДВС с порядком работы 1 – 2 – 4 – 5 – 3 при переходе на 50 %-е значение мощности или работе ДВС в буферном режиме с интегрированным мотор-генератором (ИМГ) в гибридных или комбинированных силовых установках формируют три группы цилиндров:

1-я группа - 1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0;

2-я группа - 4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0;

3-я группа - 3-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0,

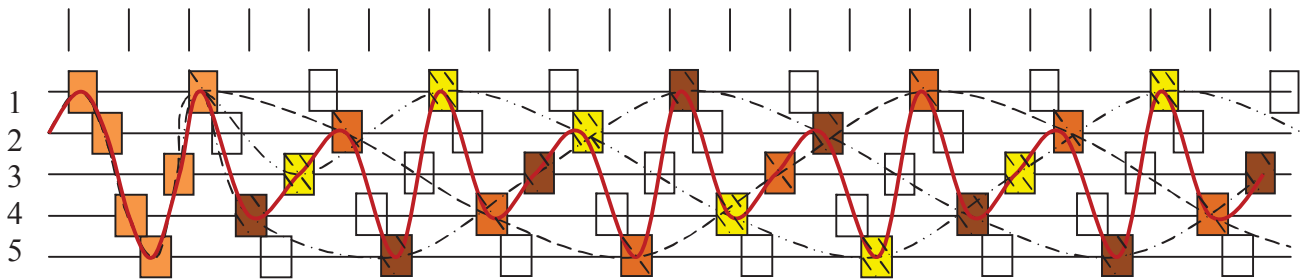
со смещением первого цилиндра второй группы относительно первого цилиндра первой группы по углу поворота коленчатого вала на угол αk , равный 288° при значении α , равном 144° , и k , равном 2, и смещением первого цилиндра третьей группы на угол 576° при том же значении α и k , равном 4. Тогда общий порядок работы станет 1-0-4-0-3-0-2-0-5-0 с периодом повторения, равным четырем оборотам коленчатого вала.

При переходе на 33%-е значение мощности или работе ДВС в буферном режиме с ИМГ в гибридных или комбинированных силовых установках формируют две группы цилиндров:

1-я группа 1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0;

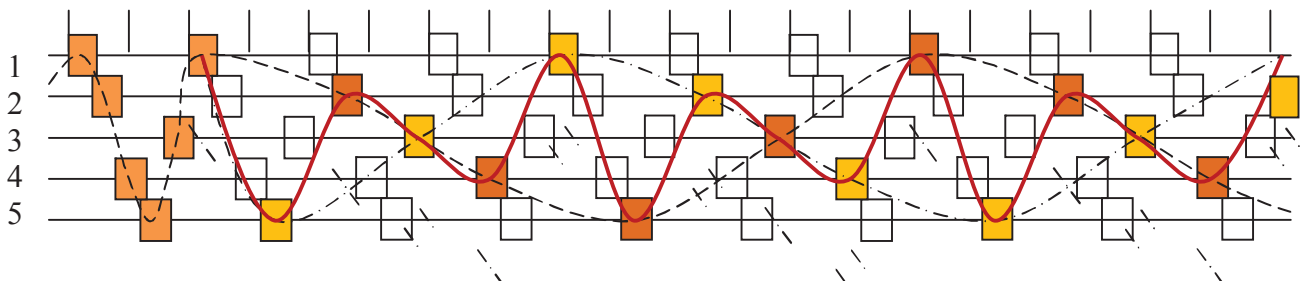
2-я группа 5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0,

со смещением первого цилиндра второй группы относительно первого цилиндра первой группы по углу поворота коленчатого вала на угол αk , равный 432° , при значении α , равном 144° , и k , равном 3. В этом случае общий порядок работы станет 1-0-0-5-0-0-2-0-0-3-0-0-4-0-0 с периодом повторения, равным шести оборотам коленчатого вала.



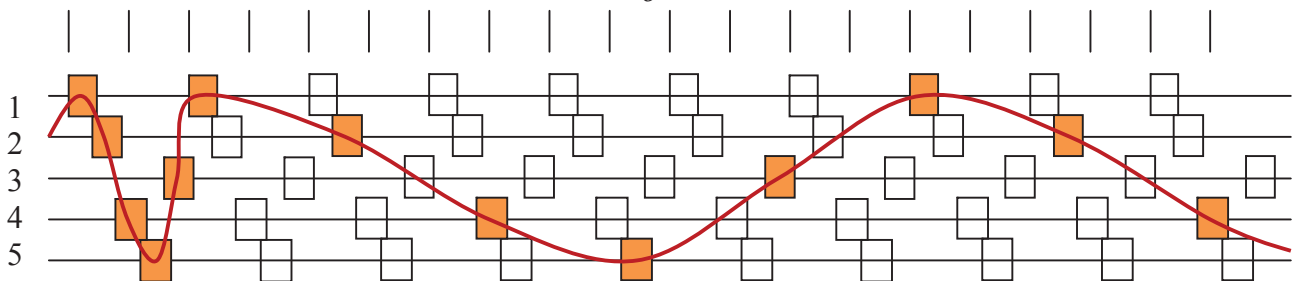
1-я группа ----- 1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0
 2-я группа ----- 4-0-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0
 3-я группа ----- 3-0-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0
 ДИМ 50 % ———— 1-0-4-0-3-0-2-0-5-0

а



1-я группа ----- 1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0
 2-я группа ----- 5-0-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0
 ДИМ 33% ———— 1-0-0-5-0-0-2-0-0-3-0-0-4-0-0

б



ДИМ 15% ———— 1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0

в

Рис. 1. Схемы формирования порядка работы цилиндров пятицилиндрового четырехтактного ДВС при ДИМ:
 а - при 50 % мощности (средние нагрузки и частичные нагрузки, холостой ход);
 б - при 33% мощности (частичные нагрузки и холостой ход);
 в -- при 15% мощности (холостой ход)
 (на рисунках цифрами обозначены номера цилиндров, стробы соответствуют оборотам коленчатого вала, а затененные и светлые фигуры обозначают активные и пассивные цилиндры соответственно при нормальном и растянутом порядках работы)

На малом газе (режим холостого хода) при переходе на 15 %-е значение мощности порядок работы станет - 1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0, где 0 – шаг пропуска рабочих ходов, а угол φ' в группе для любого из вариантов будет равен $\varphi' = (2\pi t - \pi) / i + \pi$.

Так, для нормального режима $(2 \times 3,14 \times 2 - 3,14 \times 5) \div 5 + 3,14 = 5,024\pi = 144^\circ = 0,4$ об. к.в.
 Для ДИМ при 15 %-м значении мощности $(2 \times 3,14 \times 12 - 3,14 \times 5) \div 5 + 3,14 = 15,072\pi = 864^\circ = 2,4$ об. к.в.

Аналогичные схемы могут быть применены для многоцилиндровых ДВС с парным или непарным количеством цилиндров, работающих по двухтактному и четырехтактному циклам, а именно для рядных и V-образных 4-, 5-, 6-, 8-, 10- и 12-цилиндровых ДВС, а также для W-образных двигателей, работающих как отдельно, так и в составе модульных силовых установок (МСУ).

Для подтверждения теоретических положений и результатов по дискретному изменению мощности проведены натурные испытания дизельного двигателя дизельгенератора 1-ПДГ4Д в режиме дискретного изменения мощности.

В ходе проведения эксперимента установлено, что обороты коленчатого вала в режиме холостого хода при переходе на «растянутый» порядок работы соответствуют установленной величине $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ и их отклонение не превышает величину, установленную для нормального порядка работы.

Рабочая температура двигателя снизилась на два градуса ($t_{\text{ож}} = 68^\circ\text{C}$, $t_{\text{м}} = 68^\circ\text{C}$).

Двигатель работает устойчиво, более «мягкая» его работа отмечалась при реализации «пилотного» впрыска топлива и более

«жесткая» его работа соответствовала одинарному впрыску на средних значениях углов опережения впрыска.

Экономичность работы двигателя на режиме ДИМ 15% ухудшилась на 7 – 17 %, что объясняется значительными насосными потерями и потерями на сжатие в пассивных цилиндрах (на один «активный» шесть «пассивных»).

Экологические показатели по СО и NO в сравнении со штатными режимами в 2-3 раза выше.

При переходе в режиме ДИМ 30% на холостой ход несколько улучшился часовой расход (превышение 5 – 10 %) при тех же экологических показателях.

При переходе в режиме ДИМ 50% на холостой ход улучшился часовой расход (экономия 3 %) при тех же экологических показателях.

В режиме частичных нагрузок в обоих случаях наблюдается превышение удельного расхода топлива 37 % и 21 % для первого и третьего положений контроллера соответственно. Однако экологические показатели в обоих случаях выше. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Варианты испытаний и результаты исследования

а) холостой ход:

Режим функционирования ДВС	Вариант подачи топлива и угол опережения впрыска, °	Часовой расход топлива, кг/ч	Количество вредных веществ, ppm		
			СО	NO	C ₃ H ₈
1	2	3	4	5	6
1-й вариант испытаний					
Нормальный порядок работы двигателя	Одинарный 10°	7,59	3	2	6
«Растянутый» порядок работы двигателя	Пилотный 10°	8,92	0	0	11
«Растянутый» порядок работы двигателя	Одинарный 10°	8,54	0	0	1
«Растянутый» порядок работы двигателя	Одинарный 16°	8,25	1	1	0
«Растянутый» порядок работы двигателя	Одинарный 18°	8,15	1	1	0

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
2-й вариант испытаний					
Нормальный порядок работы двигателя (хх) (24.9.10)	Одинарный 16°	6,27	3	2	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 30%) (хх)	Одинарный 26°	6,9	0	1	8
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (хх)	Одинарный 26°	6,6	0	0	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (хх)	Одинарный 18°	6,10	0	0	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (хх)	Одинарный 24°	6.42	0	0	8

б) частичные нагрузки:

Режим функционирования ДВС	Вариант подачи топлива и угол опережения впрыска	Удельный расход топлива, кг/л.с.·ч;	Количество вредных веществ, ppm		
			CO	NO	C ₃ H ₈
Нормальный порядок работы двигателя (75л.с., 300 мин ⁻¹)	Одинарный	193,2	3	2	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (75л.с., 300 мин ⁻¹)	Одинарный 18°	265,1	0-1	0-1	1-3
Нормальный порядок работы двигателя (240л.с., 330 мин ⁻¹)	Одинарный	157,2	1	9	2
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50 %) (240 л.с., 400 мин ⁻¹)	Одинарный 16°	190,8	1	0	9

*- ppm (part per million, т. е. частей на миллион)

Эффект от использования данного технического решения состоит в том, что увеличивается производительность двигателя за счет уменьшения времени выхода на режим при переходе на полную мощность, повышаются экономические и экологические показатели, а также в том, что повышается надежность двигателя за счет исключения дополнительных механизмов.

Уменьшение времени выхода на режим при переходе на полную мощность происхо-

дит за счет того, что тепловой режим процесса функционирования стабилизирован, это же обуславливает высокие экономические и экологические показатели.

Заключение

Представленное техническое решение направлено на улучшение экономических и экологических параметров. При этом его разработка велась с учетом использования возможности его реализации в перспектив-

ных ДВС, используемых в составе гибридных и комбинированных силовых агрегатов.

Дискретное изменение мощности ДВС даже без изменения режима функционирования ГРМ позволяет примерно в 2-3 раза снизить количество вредных выбросов, а совместная реализация ДИМ с ГРМ с управляемыми фазами газораспределения (ФГР) обеспечит снижение насосных потерь и потерь на сжатие в пассивных цилиндрах и позволит получить расчетные (требуемые) значения по экономичности.

Библиографический список

1. Пат. РФ, МПК. Способ дискретного изменения мощности ДВС. (варианты) [Текст] / А.А. Грабовский; № 2380562; опубл. 27.02.2010.
2. Грабовский, А.А. ДВС с дискретным изменением мощности [Текст] / А.А. Грабовский // Автомобильная промышленность. – 2008. - № 2. - С.8-12.

GUARANTEEING OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

© 2011 А. А. Grabovskiy¹, V. A. Mironov²

¹Penza state university

²Open Society "Penzadizelmash"

The analysis of the factors defining value of ecological and economic indicators of internal combustion engines is presented. The technical decisions directed on achievement of demanded indicators of quality of functioning as that discrete change of capacity of the internal combustion engine, allowing approximately in 2-3 times to lower quantity of harmful emissions, with simultaneous improvement of economic indicators.

An internal combustion engine, the integrated motor-generator, capacity, a twisting moment, specific fuel consumption, ecological indicators.

Информация об авторах

Грабовский Александр Андреевич, доцент кафедры «Транспортные машины» Пензенского государственного университета. Телефон: (841-2) 238817, 89273607192. E-mail: algra888@yandex.ru. Область научных интересов: энергетические установки, конструкция поршневых ДВС, рабочие процессы в двигателях, кинематика и динамика поршневых двигателей.

Миронов Виктор Алексеевич, главный конструктор Открытого акционерного общества «Пензадизельмаш». Тел.: (8412) 369- 218. E-mail: ogk-pdj@mail.ru. Область научных интересов: Конструкция поршневых ДВС, рабочие процессы в двигателях, отключение цилиндров.

Grabovsky Alexander Andreevich, the senior lecturer of the Penza state university. Phone: (841-2) 238817, 89273607192. E-mail: algra888@yandex.ru. Area of research: Power installations, a design piston of internal combustion engines, working processes in engines, kinematics and dynamics of piston engines.

Mironov Victor Alekseevich, the chief designer of Open Society "Penzadizelmash". Phone: (8412) 369- 218. E-mail: ogk-pdj@mail.ru. Area of research: the Design piston of internal combustion engines, working processes in engines, switching-off of cylinders.