

## **ДВИГАТЕЛЬ С ВЫДЕЛЕННЫМ ТАКТОМ ГОРЕНИЯ**

**Г.Г. Манасарян, С.С. Чибухчян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Разработка двигателя внутреннего сгорания (ДВС) представляет собой величайшее достижение прошлого столетия, оказавшее преобразующее воздействие на общественные аспекты, в частности, на способность к перемещению.

В настоящее время потребность населения Земли в энергии ежедневно растёт. Одними из первых потребителей носителей энергии в жидком и газовом виде являются двигатели внутреннего сгорания с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ), мощность и количество которых с каждым годом растут, и соответственно увеличивается потребление топлива. Современный двигатель внутреннего сгорания – "не самый выдающийся продукт". Это значит, что его можно и нужно совершенствовать до бесконечности. Это слова президента венчурного фонда семьи Рокфеллера -Venrock.

На сегодняшний день известны разные принципиальные схемы ДВС, в которых кривошипно-шатунный механизм выполнен в различных вариантах. Однако основным недостатком различных видов КШМ, в частности КШМ в ДВС, является то, что в процессе работы ДВС разнообразно меняется плечо, создаваемое коленчатым валом (коленвалом), на которое (плечо) приложена сила, развиваемая на дне поршня, что создаёт крутящий момент, передаваемый на выходной вал. В результате за счёт меняющейся величины плеча, с которой шатун действует на коленвал в ДВС с КШМ, имеем значительные потери, коэффициент полезного действия (КПД) составляет примерно 0,4.

Предлагаемый четырехтактный бензиновый двигатель не имеет коленчатого вала и шатуна, процесс горения в нем происходит в постоянном объеме камеры сгорания и выделен в отдельный дополнительный такт, а рабочий цикл реализуется за один оборот вала двигателя, что обеспечивает значительное повышение технико-эксплуатационных показателей двигателя.

**Ключевые слова:** двигатель, коленчатый вал, такт, цикл, поршень, кулачок.

**Введение.** При работе четырехтактного бензинового двигателя внутреннего сгорания наиболее сложным и трудно управляемым процессом является процесс горения топливовоздушной смеси, который зависит от многих факторов, таких как состав смеси, нагрузка двигателя, степень сжатия, угол опережения зажигания, обороты коленчатого вала, условия эксплуатации

и т.д. В результате этого топливо сгорает не полностью, и часть его (от 20 до 25%) выбрасывается в атмосферу, нанося вред окружающей среде [1].

Именно поэтому в современных бензиновых двигателях устанавливают специальные, очень дорогие катализаторы, которые частично дожигают не успевшее сгореть в камере сгорания топливо, тем самым уменьшая выброс вредных веществ в атмосферу.

Отметим, что по экологическому стандарту Euro 7 сокращены выбросы загрязняющих веществ. Пороговые значения для оксидов азота (NOx), мелкодисперсных частиц и других вредных газов снижены по сравнению с действующим в настоящее время стандартом Euro 6.

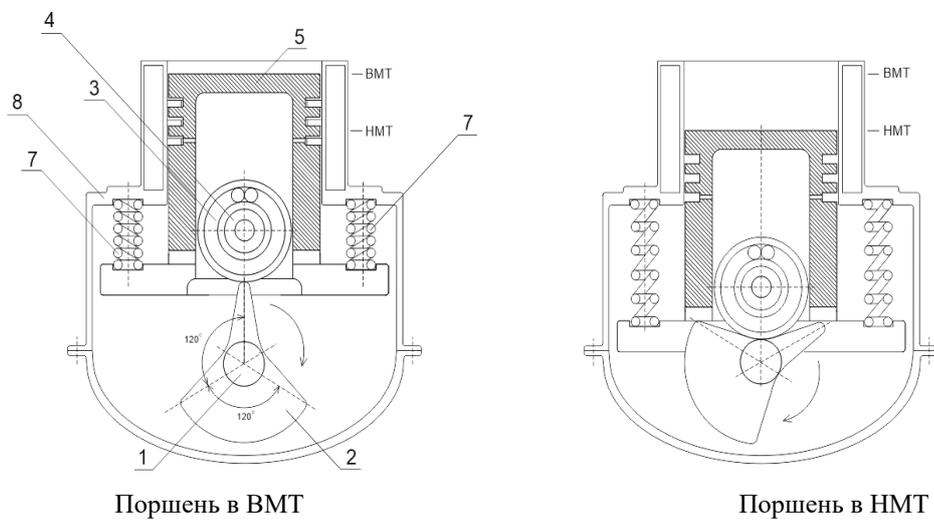
Известно, что при полном сгорании бензина образуются углекислый газ (CO<sub>2</sub>) и водяной пар (H<sub>2</sub>O), однако добиться этого на сегодняшний день практически невозможно. Дело в том, что при работе двигателя на сгорание топливоздушная смесь, в зависимости от оборотов, отводится очень мало времени (от нескольких миллисекунд до нескольких десятых долей миллисекунды), и это время уменьшается с увеличением оборотов коленчатого вала двигателя. В то же самое время горение происходит в увеличивающемся объеме, что отрицательно сказывается на самом процессе горения и давлении газов в конце сгорания.

Для получения максимальной работы цикла необходимо энергию уже сгоревшего топлива подвести к рабочему органу в начале такта рабочего хода, а не в середине и не в конце, поскольку теплота, подведенная в середине такта рабочего хода, а тем более в конце хода, уже никому не нужна [2,3].

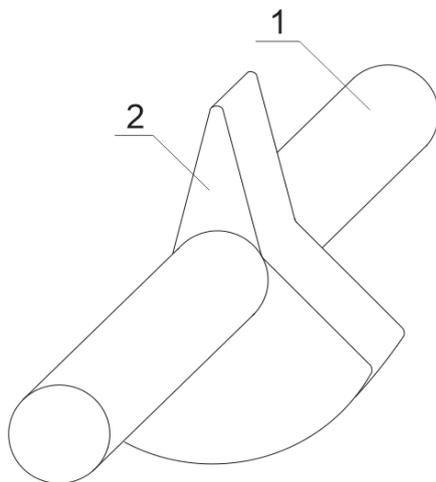
**Методы исследования.** В предлагаемом нами бензиновом ДВС время горения значительно больше, чем в традиционном двигателе, а само горение происходит в постоянном объеме камеры сгорания (изохорный процесс), в результате чего топливо сгорает полностью, и давление в конце процесса горения становится значительно выше, чем в традиционном двигателе.

Предложенный двигатель не имеет коленчатого вала и шатуна, процесс горения в нем происходит в постоянном объеме камеры сгорания и выделен в отдельный дополнительный такт, а рабочий цикл реализуется за один оборот вала двигателя.

На рис. 1 представлен предлагаемый нами четырехтактный бензиновый двигатель в разрезе при двух крайних положениях поршня, на рис. 2 – вал двигателя с жестко закрепленным на нем трехвершинным кулачком, на рис. 3 – сочленение поршня, поршневого пальца, подшипника качения, трехвершинного кулачка особого профиля и вала в разрезе.



*Рис. 1. Двигатель в разрезе*



*Рис. 2. Схема вала с жестко закрепленным на нем трехвершинным кулачком особого профиля*

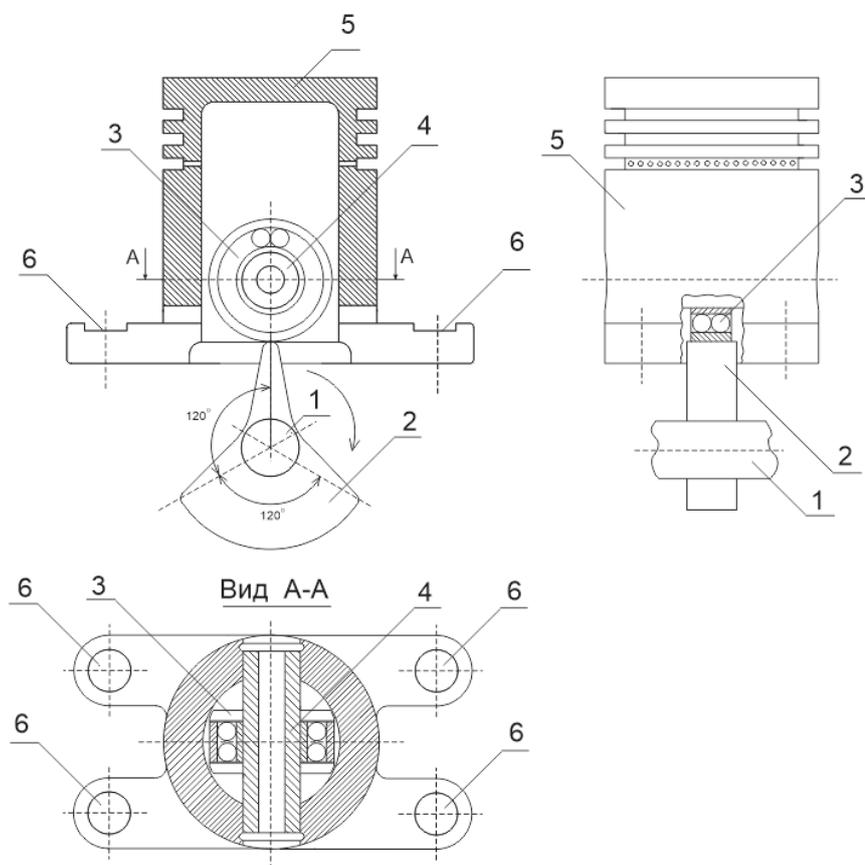


Рис. 3. Сочленение поршня, поршневого пальца, подшипника качения, трехвершинного кулачка особого профиля и вала в разрезе

Двигатель состоит из вала 1 (рис. 1-3), жестко закрепленного на нем трехвершинного кулачка особого профиля 2, подшипника качения 3, жестко посаженного на поршневой палец 4, закрепленного в поршне 5, имеющего четыре углубления 6 для установки четырех пружин 7, и блока цилиндров 8 с аналогичными углублениями для установки четырех пружин 7.

Вершины кулачка особого профиля 2 смещены друг относительно друга на угол в  $120^{\circ}$ . Пружины 7 своим нижним концом устанавливаются в четыре углубления 6 на поршне 5, а верхним концом – в аналогичные углубления на блоке цилиндров 8.

Двигатель работает следующим образом.

**Такт впуска.** В начале такта впуска поршень 5 (рис.1-3) находится в верхней мертвой точке (ВМТ) (положение поршня указано в левой части рис. 4), пружины 7 сжаты и давят на поршень 5, пытаясь сместить его вниз. Палец 4 жестко закреплен на поршне 5, а на палец 4 жестко насажен подшипник

качения 3, который прижимается к одной из вершин жестко закрепленного на валу 1 трехвершинного кулачка особого профиля 2 (левая часть рис. 4).

При повороте вала 1 (рис. 4) вместе с ним начинает поворачиваться и трехвершинный кулачок особого профиля 2 (направление вращения указано стрелкой). За счет профиля кулачка 2 и сил сжатия пружин 7 (рис.1) начинает свое движение вниз и поршень 5 (рис. 1, 4). При этом подшипник качения 3, жестко посаженный на поршневой палец 4, начинает вращаться вокруг оси пальца 4 и обкатывать профиль кулачка 2 (рис. 4). При повороте вала 1 с кулачком 2 на  $60^{\circ}$  поршень 5 займет свою нижнюю мертвую точку (НМТ) (положение поршня указано в правой части рис. 4). Пружины 7 разжимаются. В начале такта впуска, как и в традиционном двигателе, открывается впускной клапан (на рисунках не указано), топливовоздушная смесь поступает в цилиндр двигателя, после чего впускной клапан закрывается. Выпускной клапан во время всего такта закрыт.

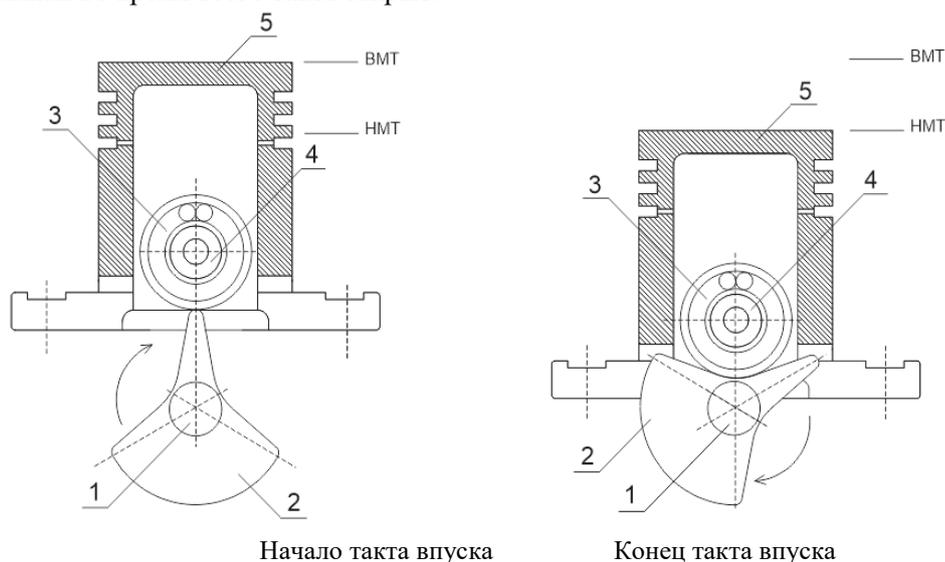


Рис. 4. Такт впуска

**Такт сжатия.** В начале такта сжатия поршень 5 находится в НМТ (положение поршня указано в левой части рис. 5). При повороте вала 1 вместе с ним поворачивается и трехвершинный кулачок особого профиля 2. Подшипник качения 3, жестко посаженный на поршневой палец 4, обкатывая профиль кулачка 2, начинает перемещать поршень 5 к ВМТ. При этом пружины 7 (рис. 1) начинают сжиматься. При повороте вала 1 (рис. 5) с кулачком 2 на  $60^{\circ}$  поршень 5 займет свою ВМТ (положение поршня указано в правой части рис. 5). В конце такта сжатия пружины 7 полностью сжаты (левая часть рис. 1). При такте сжатия, как и в традиционном двигателе, впускной и

выпускной клапаны (на рисунках не указаны) закрыты, и при положении поршня в ВМТ топливовоздушная смесь полностью сжата.

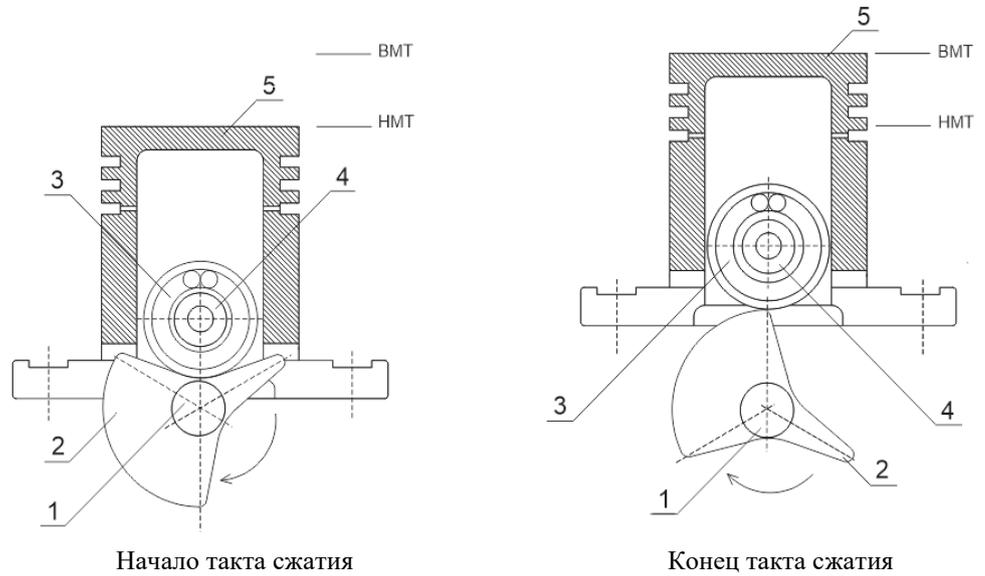


Рис. 5. Такт сжатия

**Такт горения.** При такте горения оба клапана закрыты, а поршень 5 находится в ВМТ (положение поршня указано в левой части рис. 6). Посредством свечи зажигания (на рисунке не указана) подается искра, и топливовоздушная смесь начинает сгорать.

При повороте вала 1 вместе с ним поворачивается и трехвершинный кулачок особого профиля 2. Профиль кулачка 2 подобран таким образом, что начиная с момента, указанного в левой части рис. 6, и до момента, изображенного в правой части рис. 6, подшипник качения 3, жестко посаженный на поршневой палец 4, обкатывая профиль кулачка 2, не перемещает поршень 5, который находится неподвижно в ВМТ. Длительность данного такта составляет  $120^{\circ}$  по углу вращения вала 1, что обусловлено профилем трехвершинного кулачка. Пружины 7 (левая часть рис. 1) находятся в полностью сжатом состоянии. Сгорание топливовоздушной смеси осуществляется в постоянном объеме камеры сгорания.

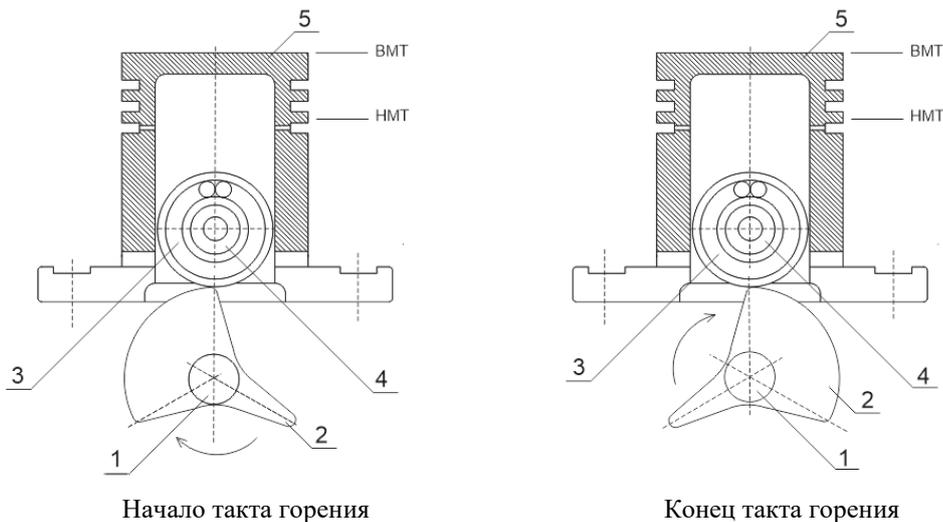


Рис. 6. Такт горения

**Рабочий ход.** В начале рабочего хода поршень 5 находится в ВМТ (положение поршня указано в левой части рис. 7). Поршень 5 за счет давления газов в надпоршневом пространстве и силы сжатия пружин 7 (рис. 1) давит через поршневой палец 4 (рис. 7) на подшипник качения 3, который, обкатываясь вокруг кулачка 2, проворачивает его и вал 1 двигателя. При повороте вала 1 с кулачком 2 на  $60^\circ$  поршень 5 займет свою НМТ (положение поршня указано в правой части рис. 7). Рабочий ход завершен, пружины 7 полностью разжаты (правая часть рис. 1), а впускной и выпускной клапаны (на рисунках не указаны) во время всего такта остаются закрытыми.

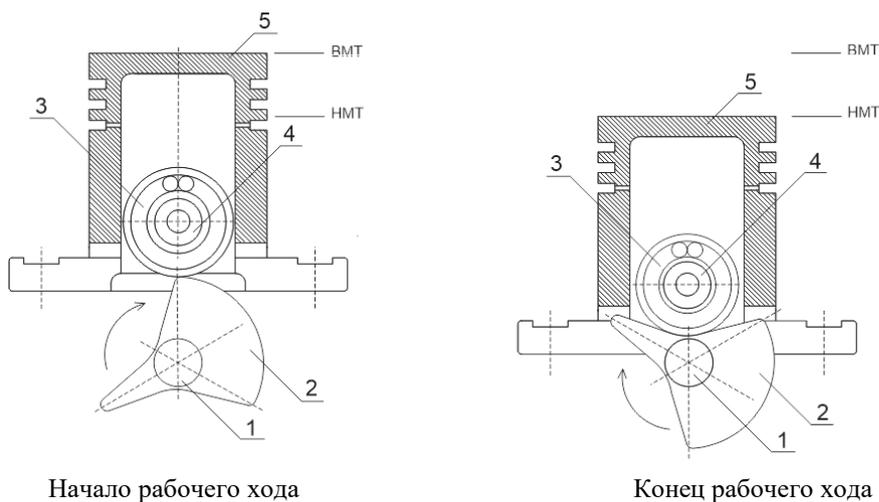


Рис. 7. Рабочий ход

**Такт выпуска.** В начале такта выпуска поршень 5 находится в НМТ (положение поршня указано в левой части рис. 8).

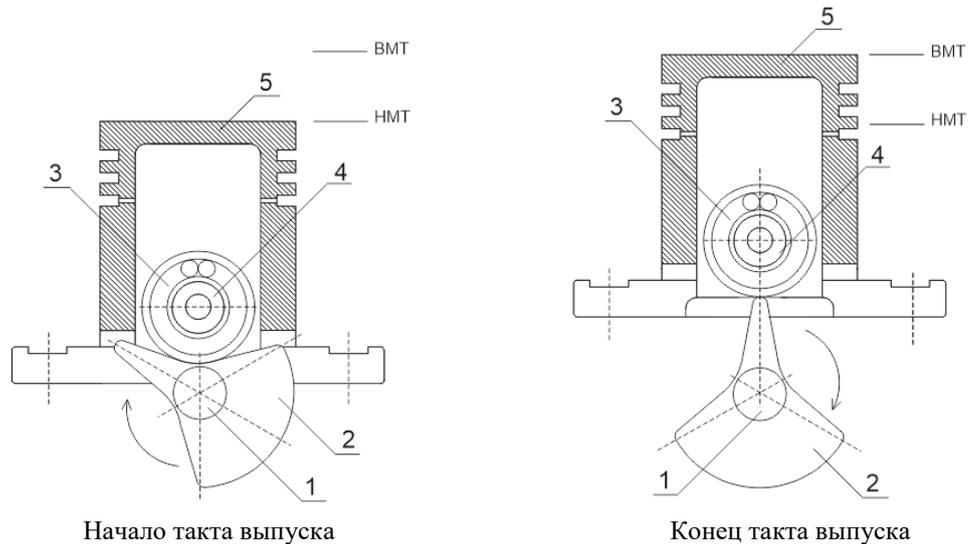


Рис. 8. Такт выпуска

При повороте вала 1 вместе с ним начинает поворачиваться и трехвершинный кулачок особого профиля 2. За счет профиля кулачка 2 начинает свое движение вверх поршень 5. При этом подшипник качения 3, жестко посаженный на поршневой палец 4, начинает вращаться вокруг оси пальца 4 и обкатывать профиль кулачка 2 (рис. 8). Пружины 7 (рис. 1) начинают сжиматься. При повороте вала 1 с кулачком 2 на  $60^\circ$  поршень 10 займет свою ВМТ (положение поршня указано в правой части рис. 8). Пружины 7 (рис. 1) полностью сжаты. В начале такта выпуска, как и в традиционном двигателе, открывается выпускной клапан (на рисунке не указан), и отработанные газы выбрасываются в атмосферу. В конце такта выпускной клапан закрывается. Впускной клапан во время всего такта остается закрытым.

В дальнейшем цикл повторяется.

**Результаты исследования.** Теперь определим, какими преимуществами обладает предложенный нами двигатель по сравнению с традиционным четырехтактным бензиновым двигателем.

Рассчитаем время, необходимое для реализации одного такта в традиционном четырехтактном двигателе при частоте вращения коленчатого вала, допустим,  $3000 \text{ об/мин}$  ( $50 \text{ об/с}$ ).

Один оборот вала в нем будет осуществлен за  $0,02 \text{ с}$  ( $1 : 50 = 0,02$ ), а один такт будет реализован за  $0,01 \text{ с}$  ( $0,5$  оборота коленчатого вала двигателя).

Теперь рассчитаем реальное время горения топливовоздушной смеси в этом двигателе при оборотах в 3000 *об/мин*, приняв, что процесс горения начинается за 15° до прохождения поршня в ВМТ и заканчивается при 30° после прохождения поршнем ВМТ, т.е. основная масса топливовоздушной смеси сгорает при повороте коленчатого вала двигателя на угол в 15° + 30° = 45°.

С учетом времени, затраченного на реализацию одного такта (0,01 с), и длительности одного такта (180° по углу поворота коленчатого вала) можно рассчитать время горения ( $t_{гор.}$ ), или время, за которое коленчатый вал традиционного четырехтактного двигателя повернется на 45°.

Оно будет равно

$$t_{гор} = \frac{45 \cdot 0,01}{180} = 0,0025 \text{ с.}$$

Для точного сравнения примем, что в предложенном нами двигателе продолжительность тактов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска та же, что и в традиционном, и равна 0,01 с.

Однако следует учесть, что в предложенном двигателе рабочий цикл происходит за 1 оборот вала двигателя (360°), и каждый из тактов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска реализуется за 60° поворота вала двигателя, а дополнительный цикл горения реализуется за 120° поворота вала двигателя.

Итого: (60° x 4) + (60° x 2) = 360°.

Т.е. поворот вала предложенного двигателя на 60° должен быть осуществлен за 0,01 с. В этом случае время, необходимое для реализации одного цикла в предложенном двигателе, с учетом времени, необходимого для реализации тактов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска, а также дополнительного такта горения, будет равно (0,01 x 4) + (0,01 x 2) = 0,06 с.

В этом случае для обеспечения того же времени реализации тактов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска, что и в традиционном четырехтактном двигателе, частота вращения вала предложенного двигателя должна быть в 1,5 раза ниже (0,06:0,04=1,5) и составляет 2000 *об/мин* (3000:1,5=2000).

Теперь сравним реальное время горения в традиционном двигателе при вращении коленчатого вала с частотой 3000 *об/мин* с реальным временем горения в предложенном нами двигателе при частоте вращения его вала в 2000 *об/мин*.

В первом случае, как показали наши расчеты, оно равно 0,0025 с, а во втором случае – 0,02 с (время поворота вала предложенного нами двигателя на 120° при реализации такта горения). Получается, что время горения в предложенном двигателе увеличивается в 8 раз (0,02:0,0025= 8).

Теперь по известному выражению [3] рассчитаем и сравним эффективные мощности традиционного четырехтактного, к примеру, трех-литрового ( $V_{л} = 3$ ) бензинового двигателя при вращении его коленчатого вала с частотой 3000 об/мин, и предложенного нами такого же двигателя при частоте вращения его вала в 2000 об/мин:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_{л} \cdot n}{30 \tau},$$

где  $P_e$  - среднее эффективное давление, МПа (для бензиновых двигателей его значение варьирует в пределах от 0,6 ... 0,95 МПа. При расчетах примем  $P_e = 0,76$  МПа);  $V_{л}$  – литраж двигателя, л;  $n$  – обороты вала двигателя, об/мин;  $\tau$  – коэффициент тактности, который для четырехтактного двигателя равен 4, а для двухтактного – 2.

Для традиционного двигателя получим

$$N_{e \text{ традиц}} = \frac{P_e \cdot V_{л} \cdot n}{30 \tau} = \frac{0,76 \cdot 3 \cdot 3000}{30 \cdot 4} = 57 \text{ кВт},$$

а для предложенного:

$$N_{e \text{ предлож}} = \frac{P_e \cdot V_{л} \cdot n}{30 \tau} = \frac{0,76 \cdot 3 \cdot 2000}{30 \cdot 2} = 76 \text{ кВт}.$$

В данном случае  $\tau$  (коэффициент тактности) принимается равным 2, т.к. рабочий цикл в предложенном двигателе осуществляется за один оборот вращения вала.

Проведенные расчеты говорят о том, что при одинаковом литраже эффективная мощность предложенного нами двигателя приблизительно на 33% выше, чем у традиционного, и это при том, что в расчетах не учитывалось возрастание среднего эффективного давления  $P_e$ , которое выше примерно на 30% принимаемого в расчетах значения, в связи с полным сгоранием топлива и реализацией процесса горения в постоянном объеме камеры сгорания.

Помимо этого, вращение вала предложенного двигателя при его увеличенной мощности приблизительно на 33% ниже, чем традиционного.

**Заключение.** Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод, что предложенный нами двигатель, в сравнении с традиционным четырехтактным бензиновым двигателем, обладает следующими преимуществами:

1. Конструктивно он более прост в изготовлении. В нем отсутствуют коленчатый вал и шатун. Вместо них в конструкцию введены подшипник качения и вал с жестко установленным на нем трех-вершинным кулачком.
2. Рабочий цикл осуществляется за один оборот вала двигателя, что повышает технико-экономические показатели двигателя.
3. Такт горения реализуется в постоянном объеме камеры сгорания (изохорный процесс).

4. Время горения топливовоздушной смеси в несколько раз больше, чем в традиционном двигателе.
5. За счет горения топливовоздушной смеси в постоянном объеме и увеличения времени горения давление в камере сгорания в конце процесса будет значительно выше, чем в традиционном двигателе, а следовательно, увеличится и эффективная мощность двигателя.
6. За счет значительного увеличения времени горения и реализации этого процесса в постоянном объеме топливо будет сгорать практически полностью, сводя к минимуму количество выбрасываемых в атмосферу вредных частиц.
7. При одном и том же литраже мощность предложенного двигателя приблизительно на 30% выше, чем у традиционного, а обороты приблизительно на 30% ниже.
8. В традиционном двигателе в сочленениях "верхняя головка шатуна – поршневой палец" и "нижняя головка шатуна – шатунная шейка коленчатого вала" используются подшипники скольжения. Замена шатуна и коленчатого вала на подшипник качения и вал с жестко закрепленным на нем трехвершинным кулачком приводит к замене трения скольжения на трение качения.
9. Уменьшение оборотов вращения вала двигателя и замена в некоторых сочленениях трения скольжения на трение качения приводят к уменьшению сил трения и в результате увеличению ресурса двигателя.

#### **Литература**

1. КПД двигателя и топливная эффективность. <https://vsdi.ru/kpd-dvigatelya-i-toplivnaya-effekti>
2. **Грабовский А.А., Семёнов А.А., Швецов А.В.** Анализ существующих и перспективных технических решений по двигателям внутреннего сгорания // Вестник Пензенского государственного университета.- 2015. -№ 4 (12).- С. 158–168.
3. Автомобильные двигатели/ **В.М. Архангельский и др.**- М.:Машиностроение, 1977. – 591 с.

*Поступила в редакцию 02.08.2025.  
Отправлена на рецензию 05.09.2025.  
Принята к опубликованию 24.11.2025.*

## ԱՌԱՆՁՆԱՑՎԱԾ ԱՅՐՄԱՆ ՏԱԿՏՈՎ ՇԱՐԺԻՉ

### Գ.Հ. Մանասարյան, Ս.Ս. Չիբուխչյան

Ներքին այրման շարժիչի զարգացումը անցած դարի ամենամեծ ձեռքբերումներից է, որը հսկայական ազդեցություն է ունեցել հասարակական կյանքի վրա, հատկապես մարդկանց տեղաշարժի հնարավորությունների ընդլայնման տեսանկյունից:

Ներկայումս աշխարհի բնակչության էներգետիկ պահանջները օրեօր աճում են: Հեղուկ և գազային էներգակիրների հիմնական սպառողներից են շուտովիկ-շարժաթևային մեխանիզմով (ՇՇՄ) ներքին այրման շարժիչները (ՆԱՇ), որոնց հզորությունը և քանակը ամեն տարի աճում են. բնականաբար, աճում է նաև վառելիքի սպառումը: Ժամանակակից ներքին այրման շարժիչը, ըստ "Վենրոկ" (Venrok) ներդրումային հիմնադրամի նախագահի բնորոշման՝ «ամենահանճարեղ արդյունքը չէ»: Դա նշանակում է, որ անհրաժեշտ է այն շարունակաբար կատարելագործել:

Այսօր գոյություն ունեն ՆԱՇ-ի տարբեր սկզբունքային սխեմաներ, որոնցում ՇՇՄ-ն տարբեր կերպ է իրագործված: Սակայն նման մեխանիզմների հիմնական թերությունը, մասնավորապես՝ ներքին այրման շարժիչներում, այն է, որ աշխատանքի ընթացքում, տարակերպ է փոխվում ծնկաձև լիստեռի միջոցով ստեղծվող լծակը, որի վրա ազդում է մխոցի հատակից ազդող ուժը, որն առաջացնում է պտտող մոմենտ: Արդյունքում ծնկան լիստեռի վրա ազդող շարժաթևի լծակի մեծության փոփոխության արդյունքում մխոցից շարժաթևին փոխանցվող ուժի լծակի երկարության փոփոխության հետևանքով առաջանում են զգալի կորուստներ, օ.գ.գ.-ն հասնում է մինչև 0,4:

Առաջարկվող քառատակտ բեզինային շարժիչը չունի ծնկաձև լիստեռ և շարժաթև, այրման գործընթացն իրականանում է այրման խցի հաստատուն ծավալում, և առանձնացված է առանձին լրացուցիչ տակտ, իսկ աշխատանքային ցիկլը իրականացվում է շարժիչի լիստեռի մեկ լրիվ պտույտի ընթացքում, որն ապահովում է շարժիչի տեխնիկա-շահագործական ցուցանիշների զգալի բարձրացում:

**Առանցքային բառեր.** շարժիչ, ծնկաձև լիստեռ, տակտ, ցիկլ, մխոց, բռունցք:

## AN ENGINE WITH A SEPARATE COMBUSTION CYCLE

### G.G. Manasaryan, S.S. Chibukhchyan

The development of the internal combustion engine (ICE) represents the greatest achievement of the last century, having a transformative impact on social aspects, particularly mobility.

Currently, the world's population's need for energy is growing daily. One of the first consumers of energy carriers in liquid and gas form are internal combustion engines with a crank mechanism (CCM), the power and number of which are growing every year, and fuel consumption is correspondingly increasing. The modern internal combustion engine is "not a great product." This means that it can and should be improved ad infinitum. These are the words of the president of the Rockefeller family venture fund-Venrock.

Today, various basic diagrams of internal combustion engines are known, in which the crank mechanism is made in different versions.

However, the main disadvantage of various types of crankshafts, in particular crankshafts in internal combustion engines, is that during the operation of the internal combustion engine, the arm created by the crankshaft (crankshaft) changes in various ways, to which (arm) the force developed at the bottom of the piston is applied, which creates a torque transmitted to the output shaft. As a result, due to the changing value of the arm with which the connecting rod acts on the crankshaft in an internal combustion engine with a crankshaft, we have significant losses; the efficiency coefficient is approximately 0.4.

The proposed four-stroke gasoline engine does not have a crankshaft and connecting rod, the combustion process in it occurs in a constant volume of the combustion chamber, and is separated into a separate additional stroke, and the operating cycle is implemented in one revolution of the engine shaft, which ensures a significant increase in the technical and operational performance of the engine.

**Keywords:** engine, crankshaft, stroke, cycle, piston, cam.