

**Н.И. МИЩЕНКО<sup>2</sup>, А.В. ХИМЧЕНКО<sup>1</sup>, С.Н. КРАМАРЬ<sup>1</sup>, В.Л. СУПРУН<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета, Украина*

<sup>2</sup>*Донецкий институт автомобильного транспорта, Украина*

## **ВЛИЯНИЕ СИЛОВОГО МЕХАНИЗМА НА РАБОТУ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С КРИВОШИПНО-КАМЕРНОЙ ПРОДУВКОЙ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ**

Описаны результаты расчетов и экспериментальных исследований двухтактных бензиновых двигателей с переменной степенью сжатия – классического с кривошипно-шатунным механизмом и бесшатунного с кривошипно-кулисным механизмом. Рассмотрено влияние кинематики поршня и степени сжатия на параметры этих двигателей. Показано существенное преимущество бесшатунного двигателя по технико-экономическим показателям.

**двухтактный бензиновый двигатель, кривошипно-кулисный механизм, переменная степень сжатия, газораспределение, механические потери, топливная экономичность**

### **Введение**

В настоящее время повышение топливной экономичности бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) по-прежнему является актуальной научно-технической задачей. Одним из направлений улучшения экономичности двигателей является регулирование степени сжатия на частичных нагрузках. В таких ДВС реализация переменной степени сжатия требует серьезного вмешательства в конструкцию как самого двигателя, так и силового механизма, что определенным образом сказывается на параметрах рабочего процесса.

В разработке силового механизма уже достигнуты определенные успехи. В последние годы в двигателях с регулируемой степенью сжатия применяются нетрадиционные силовые механизмы, которые характеризуются сложностью, ненадежностью и неэффективностью конструкции. Многие фирмы и исследовательские организации проводят исследования, цель которых – создание силового механизма, обеспечивающего наилучшие эффективные показатели двигателя при регулировании степени сжатия. С сегодняшней точки зрения в автомобильном ДВС перспективным является использование кривошипно-кулисного силового механизма.

В настоящей работе представлены первые результаты работ, направленных на разработку бесшатунного двигателя с кривошипно-кулисным механизмом, обеспечивающим изменение степени сжатия в широких пределах.

### **1. Обзор и анализ работ по двигателям с переменной степенью сжатия**

Работы по разработке двигателей с переменной степенью сжатия ( $\epsilon_x$ ) ведутся в США, Японии, Германии, Австралии, Швейцарии, России и др. странах. К настоящему времени известно большое множество двигателей с различной конструкцией силового механизма, обеспечивающего  $\epsilon_x$ . Так, в двухтактном двигателе со встречно-движущимися поршнями [1] степень сжатия изменяется с помощью дополнительных балансиров с эксцентриками, связанных с коленчатым валом через шатуны.

Работоспособные образцы аксиальных двигателей с  $\epsilon_x$  были созданы в США [2], России [3] и других странах. В таких двигателях приводным механизмом является косая шайба с переменным углом наклона, который изменяет ход поршня (S) и соответственно степень сжатия. Недостатками этих двигателей являются повышенные потери на трение

(до 20%) и низкая надежность, а также большие инерционные нагрузки на силовой вал.

Более интересные и надежные решения изменения степени сжатия посредством регулирования  $S$  найдены в конструкциях ДВС с плоским механизмом. В предложенном инженером Н. Pouliot и разработанным фирмами Sandia (США) и ERDA (Австралия) двигателе [4] при изменении хода поршня в пределах  $S = 25,4 \dots 108$  мм степень сжатия изменяется от 6,3 до 8. Топливная экономичность автомобиля с двигателем Н. Pouliot по ездовым циклам ЕРА для города и шоссейных дорог составляет 20%.

В последние годы концерн DaimlerChrysler совместно с ГНЦ НАМИ разработал двигатель с траверсным механизмом изменения  $S$  [5]. Степень сжатия в этом двигателе изменяется от 7,5 до 14, экономия топлива превышает 15%.

Анализ двигателей с  $\epsilon_x$  за счет регулирования  $S$  показал следующие недостатки:

- согласно [4] потери на трение в двигателе с  $S=var$  на 40% больше, чем в классическом ДВС и это различие резко возрастает с увеличением частоты вращения коленчатого вала;
- существенные потери индикаторной мощности двигателя на привод изменения  $S$ ;
- уменьшение  $S$  при неизменном диаметре поршня ведет к снижению турбулентности в цилиндре вследствие уменьшения скорости во впускных

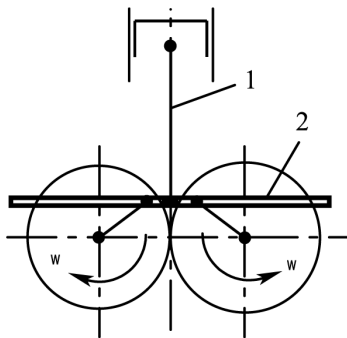


Рис. 1. Схема бесшатунного двигателя (механизм изменения степени сжатия не показан): 1 – шток, 2 – кулиса

клапанах. В этом случае увеличивается продолжи-

тельность сгорания и теплоотдача в стенки, что приводит к росту индикаторного расхода топлива;

- с уменьшением  $S$  резко возрастают выбросы СН вследствие увеличения поверхности камеры сгорания и падения температуры сгорания.

Анализ ДВС с известными силовыми механизмами свидетельствует, что максимальное значение степени сжатия на частичных режимах не превышает 14 из-за большого темпа роста потерь на трение по мере увеличения  $\epsilon_x$ . Это ограничивает возможность дальнейшего повышения эффективного КПД за счет увеличения степени сжатия свыше 14.

Среди других ДВС бесшатунный двигатель с кривошипно-кулисным силовым механизмом (ККМ) [6, 7] имеет наибольший потенциал по использованию переменной степени сжатия. Отличительной особенностью схемы двигателей с ККМ являются малые потери на трение во всем диапазоне нагрузок и частоты вращения, полная динамическая уравновешенность, компактность и малая удельная масса. Кроме того, в этом ДВС намного проще и эффективнее реализуется переменная степень сжатия, что в целом повышает показатели двигателя.

В АДИ ДонНТУ создан на базе двигателя [6] экспериментальный одноцилиндровый бесшатунный ДВС с  $\epsilon_x$ . Двигатель (рис. 1) представляет собой двухвальный поршневой двигатель с кривошипно-кулисным механизмом, в котором усилие от поршня передается на коленчатые валы через шток, механизм изменения степени сжатия и кулису с ползунами, установленными на кривошипных шейках. Коленчатые валы связаны между собой посредством двух одинаковых шестерен.

Результаты экспериментальных исследований показали:

- регулирование  $\epsilon_x$  на частичных нагрузках работающего двигателя в диапазоне от 7 до 19 повышает топливную экономичность более чем на 30 %;

- устройство изменения  $\epsilon_x$  имеет высокую чувствительность и способность быстро реагировать на появление детонации. Начальная стадия развития детонации происходит в 1...3-х рабочих циклах двигателя, а затем детонация полностью исчезает;

- на привод механизма изменения  $\epsilon_x$  затрачивается незначительная энергия (приблизительно 0,1...0,2 % максимальной мощности двигателя);

- регулирование  $\epsilon_x$  во время работы двигателя не оказывает влияния на кинематику ККМ.

## 2. Влияние силового механизма на газораспределение в двигателе

На кафедре автомобилей и двигателей АДИ ДонНТУ были проведены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования бесшатунного и классического ДВС с переменной степенью сжатия. Одной из задач этих исследований было выявление влияния силового механизма на работу двигателя при регулировании степени сжатия.

Применение в бесшатунном двигателе кривошипно-кулисного механизма приводит к изменению кинематики поршня. В отличие от классического в бесшатунном двигателе поршень перемещается по косинусоидальному закону. В результате скорость поршня вблизи в.м.т. (рис. 2) снижается, а около н.м.т. увеличивается. Это приводит к изменению

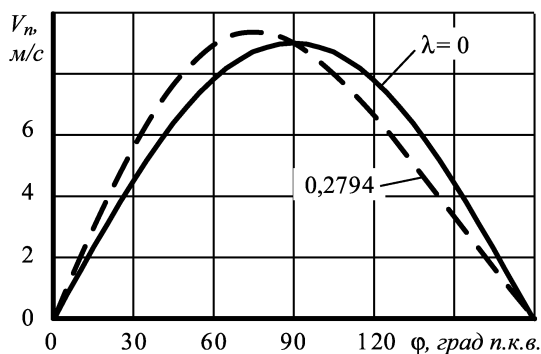


Рис. 2. Зависимость скорости поршня от угла поворота коленчатого вала для двигателей с ККМ ( $\lambda=0$ ) и КШМ при  $n = 4500 \text{ мин}^{-1}$

фаз газораспределения в бесшатунном двигателе относительно классического ДВС.

Изменение степени сжатия перемещением цилиндра относительно картера приводит в двухтактном двигателе к изменению высоты открытия впускного, выпускного и продувочных окон и соответствующих фаз газораспределения.

Как показывают расчеты, кинематика поршня оказывает существенное влияние на фазы газораспределения. Применение ККМ, уменьшая время-сечение  $A'_{\text{вып}}$  выпускного окна в среднем на 11% (рис 3) относительно двигателя с КШМ, усиливает влияние регулирования степени сжатия на процессы газообмена. Однако характер зависимости время-сечения от степени сжатия остается неизменным. Это позволяет при изменении степени сжатия от 7 до 17 уменьшить величину  $A'_{\text{вып}}$  более чем на 30 % независимо от силового механизма.

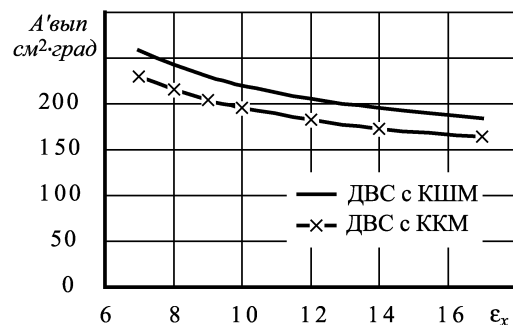


Рис. 3. Изменение время-сечения выпускного окна от степени сжатия для двигателей с ККМ и КШМ

Следует отметить, что снижение  $A'_{\text{вып}}$  на частичных нагрузках и при малых частотах вращения коленчатого вала является положительным, так как позволяет сократить потери свежего заряда при продувке и улучшить экономичность двигателя.

### 3. Влияние силового механизма на индикаторные и эффективные показатели двигателя

Изменение кинематики поршня в бесшатунном двигателе, оказывает существенное влияние на рабочий процесс [6]. В этом двигателе уменьшение скорости поршня в районе в.м.т. приводит к снижению тепловых потерь в процессе сгорания и увеличению степени последующего расширения.

Результаты экспериментального исследования показали положительное влияние кинематики поршня бесшатунного двигателя на его индикаторные показатели. Так, например, при  $N_e = 0,8 \text{ кВт}$ ,  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$  и  $\epsilon_x = 7,7$  удельный индикаторный расход топлива ниже более чем на 11 % по сравнению с исследуемым классическим двигателем. Очевидно, это связано со снижением прямых потерь смеси в процессе газообмена, а также лучшим протеканием процесса сгорания.

Анализ полученных данных показал, что увеличение степени сжатия в бесшатунном двигателе сопровождается более равномерным повышением индикаторных показателей. При высоких степенях сжатия влияние кинематики поршня на улучшение индикаторных показателей двигателя усиливается.

Повышение топливной экономичности бесшатунного двигателя связано не только с кинематикой поршня, но и с малыми механическими потерями.

Из результатов экспериментальных исследований механических потерь в бесшатунном и классическом двигателях видно, что в бесшатунном двигателе механические потери при одинаковых  $N_e$  и  $\epsilon_x$  во всех случаях ниже (рис. 4). Кроме того, с повышением степени сжатия разница в величине механических потерь существенно возрастает.

Так, при степени сжатия 7,7 механические потери в бесшатунном двигателе ниже, чем в классическом ДВС на 1,5...2 %, а при  $\epsilon_x = 17,1$  — на 26 %. Это связано с различным характером зависимости среднего давления механических потерь  $p_m$  для раз-

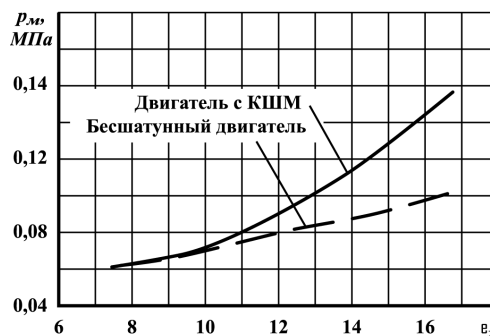


Рис. 4. Влияние  $\epsilon_x$  на механические потери в двигателях с ККМ и КШМ:  
 $N_e = 0,4 \text{ кВт}$ ,  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$

личных ДВС при изменении степени сжатия. В бесшатунном двигателе зависимость  $p_m = f(\epsilon_x)$  носит почти линейный характер, в то время как в двигателе с КШМ — степенной характер.

Выявленные преимущества бесшатунного двигателя по индикаторным показателям и механическим потерям существенно проявляются на его эффектив-

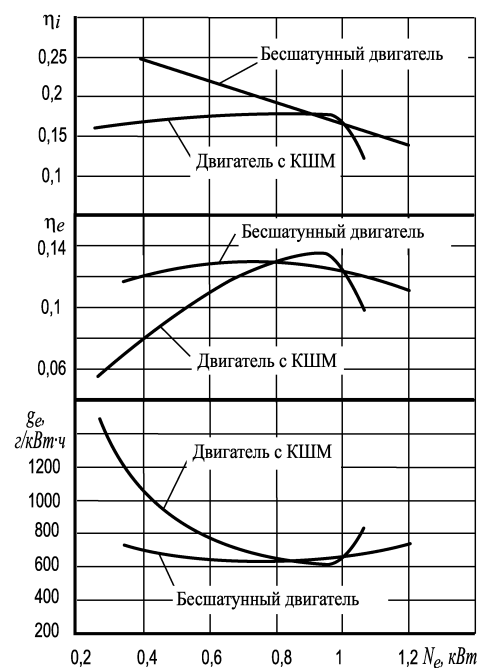


Рис. 5. Зависимость показателей двигателей с КШМ и ККМ от нагрузки при регулировании степени сжатия:  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$

ных показателей.

Полученные опытным путем зависимости индикаторных и эффективных показателей (рис. 5) показывают целесообразность использования кривошипно-кулисного механизма в двигателях с регулированием степени сжатия.

В бесшатунном двигателе в отличие от классического удельный эффективный расход топлива снижается с повышением степени сжатия свыше 14 на всех скоростных и нагрузочных режимах. Это позволяет устанавливать  $\epsilon_x$  в бесшатунном двигателе на максимально возможном уровне — по началу детонации (или самовоспламенению бензосмеси в двухтактном двигателе).

В исследуемом двигателе с КШМ степень сжатия для различных режимов изменялась от 10 до 14 и ограничивалась увеличением величины  $g_e$  из-за роста механических потерь

Таким образом, в двигателе с ККМ использование  $\epsilon_x$  может повысить топливную экономичность на малых нагрузках более чем на 15% по сравнению с двигателем с КШМ и изменяемой степенью сжатия, а по отношению к классическому двигателю с фиксированной степенью сжатия — на 30...45 %.

### Заключение

Представленные результаты показывают, что применение в бензиновом двигателе регулирования степени сжатия на частичных режимах может существенно улучшить его топливную экономичность. Рассмотрены варианты принципиальных схем силового механизма, связанные с реализацией переменной степени сжатия применительно к автомобильному двигателю. В ДВС с известными силовыми механизмами максимальная переменная степень сжатия не превышает 14 вследствие значительного роста с повышением  $\epsilon_x$  потерь на трение, что ограничивает возможность дальнейшего улучшения эффективного КПД двигателя.

Более высокая топливная экономичность при регулировании степени сжатия достигается в

бесшатунном двигателе с кривошипно-кулисным механизмом. Используя ККМ в бензиновом двухтактном двигателе, удалось снизить механические потери на 26 %, повысить топливную экономичность на 30...45 %. Кроме того, анализ работ свидетельствует о значительном превосходстве двигателей с ККМ по вибрации и шуму, уравновешенности, компактности и удельной мощности. В таких двигателях конструктивно проще и намного эффективнее реализуется переменная степень сжатия.

Дополнительно к первым результатам, изложенным в настоящей статье, необходимо выполнить большой объем исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и созданию бесшатунного бензинового двигателя с переменной степенью сжатия.

### Литература

1. *Tumoney S. G.* Variable compression ratio diesel engine // Intersoc Energy Convers. – Eng. Conf. – Boston, Mass. – 1971. – P. 356 – 363.
2. *Welsh H. W., Riley C. T.* The Variable Displacement Engine: An Advanced Concept Power Plant // SAE Paper. – 1971. – № 710830.
3. *Кутенев В. Ф., Зленко М. А., Тер-Мкртчян Г. Г.* Управление движением поршней – неиспользованный резерв улучшения мощностных и экономических показателей дизеля // Автомобильная промышленность. – 1998. – № 11. – С. 25-29.
4. *Pouliot H. N., Robinson C. W., Delameter W. R.* A Variable – Displacement Spark – Ignition Engine. Final Report / Report No. SAND 77 – 8299, Sandia Laboratories. – California, 1978.
5. *Еремкин В.* Экспорт Технологий // Авто Ревю. – 2000. – № 5. – С. 32.
6. *Мищенко Н. И.* Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания. В 2 томах. Т.1. Теория, разработка и испытание нетрадиционных

двигателей внутреннего сгорания. — Донецк: Лебедь, 1998. — 228 с.

7. Neuer Motor – Typ vor der Serienreife: Auberger  
wohnliche Laufreihe. Ind // ANZ. – 1990. – 112, № 102.  
– S. 23.

*Поступила в редакцию*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Долганов К. Е.

Национальный транспортный университет, Киев.