

УДК 621.433.2

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО  
ЦИКЛА ДЛЯ КОНВЕРТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО  
ДВИГАТЕЛЯ В ГАЗОВЫЙ**  
SELECTION OF AN OPTIMAL THERMODYNAMIC CYCLE  
FOR CONVERSION OF A DIESEL ENGINE TO A GAS

**А.В. Козлов**, д-р техн. наук, **К.В. Милов**, асп.,  
ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ", г. Москва, Россия.

A. Kozlov, Doctor of Science, K. Milov, Postgraduate student,  
Central Scientific Research Automobile and Automotive  
Engines Institute, Moscow, Russia.

*На основании результатов экспериментальных исследований дизельного двигателя 6ЧН13/15, конвертированного в газовый, проведен сравнительный анализ показателей двигателя при его работе по термодинамическому циклу Отто и циклу Миллера.*

*Based on the results of experimental studies of a diesel engine converted to gas, a comparative analysis of the engine performance during its work on the Otto thermodynamic cycle and the Miller cycle is carried out.*

Ключевые слова: газовый двигатель, природный газ, цикл Миллера, цикл Отто, конвертирование двигателя.

Key words: gas engine, natural gas, Miller cycle, Otto cycle, engine conversion.

## ВВЕДЕНИЕ

Основные проблемы, возникающие при переходе на природный газ это: уменьшение эффективного КПД (из-за снижения степени сжатия), снижение топливной экономичности, двигатели на природном характеризуются более высокой теплонапряженностью и склонностью к возникновению детонации [1]. Высокая общая теплонапряженность газового двигателя является одной из причин дефорсировки двигателя по мощности и крутящему моменту. Несмотря на это, конвертация двигателя на газовое топливо остается экономически выгодной [2].

Данные термодинамического анализа [3] показали, что цикл Миллера позволяет на 18 % повысить эффективный КПД на малых

нагрузках по сравнению с циклом Отто. В результате исследования [4] различий между ранним закрытием и поздним закрытием впускного клапана в эффективности относительно снижения действительной степени сжатия и изменений КПД практически нет, разница замена в снижении температуры отработавших газов. Ранее закрытие впускного клапана позволяет существенно снизить температуру отработавших газов. Таким образом, одним из способов достижения желаемого эффекта от газового двигателя будет переход на цикл Миллера с ранним закрытием впускного клапана (РЗВпК).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На базе Испытательного центра продукции автомобилестроения ФГУП «НАМИ» проведен ряд исследований газовых двигателей 6ЧН13/15 работающего по циклу Миллера и Отто, конвертированных из дизельного двигателя, испытания проводились по совокупности нагрузочных характеристик на частотах 1000...1800 мин<sup>-1</sup> с шагом 200 мин<sup>-1</sup>.

Одной из основных проблем при конвертировании дизельного двигателя в газовый, работающий по циклу Отто, является снижение степени сжатия. В рассматриваемом случае была установлена дополнительная прокладка между блоком цилиндров и головкой блока, распределительный вал сохранен от базового дизельного двигателя. Реализация раннего закрытия впускного клапана на цикле Миллера стала возможна благодаря установке нового распределительного вала. Геометрическая степень сжатия для цикла Отто составляет 12,5, для цикла Миллера геометрическая степень сжатия равна 17,5, как у базового двигателя, эффективная степень сжатия составила 13,4. Максимальная мощность для цикла Отто составляет 331 кВт, для Миллера – 380 кВт, цикл Миллера позволяет сделать более форсированный двигатель. На рисунке 1 представлено сравнение характеристик при работе по нагрузочным характеристикам для двух частот вращения 1000 и 1800 мин<sup>-1</sup>.

В результате исследования удельный расход топлива для цикла Миллера на малых нагрузках ниже, чем для Отто, максимальная разница составляет 46,8 г/кВт·ч на режиме  $n = 1000$  мин<sup>-1</sup>  $M_e = 310$  Н·м. На средних и высоких нагрузках значения удельного эффективного расхода практически одинаковы. Минимальное значение удельного

эффективного расхода для цикла Миллера  $g_e = 186,6$  г/кВт·ч, для цикла Отто – 187,1 г/кВт·ч.

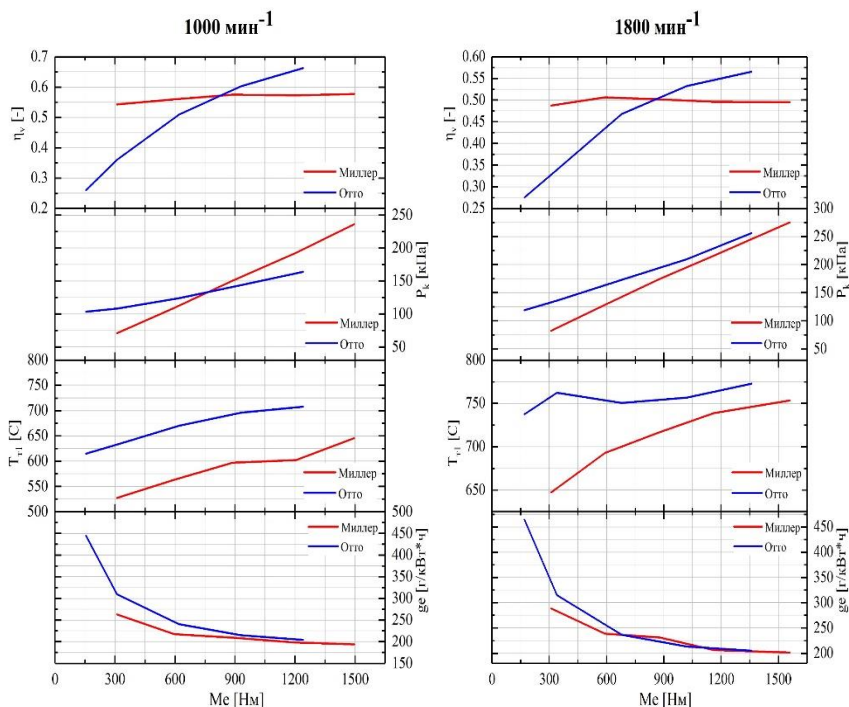


Рисунок 1 – Сравнение термодинамических циклов при  $n=1000$  и  $1800 \text{ мин}^{-1}$

Температура отработавших газов перед турбиной для цикла Миллера ниже на 100...150 °С. Максимальная разница в температурах наблюдается при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и  $M_e$  более 300 Н·м и составляет 150 °С. Данный факт экспериментально подтверждает принципиальную возможность реализации цикла Миллера в газовом двигателе как эффективной меры снижения температуры отработавших газов.

Коэффициент наполнения по циклу Отто при  $n = \text{const}$  равномерно возрастает при росте нагрузки, максимальное значение  $\eta_v = 0,69$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $M_e = 1480 \text{ Н·м}$ . Значение коэффициента наполнения для цикла Миллера находится в диапазоне

0,49–0,58, это связано с регулированием давления наддува при помощи перепускного клапана турбины. Так как коэффициент наполнения цикла Миллера на высоких нагрузках ниже, необходимо более высокое (на 20 %) давление наддува (до 320 кПа), которое достигается за счет установки двух последовательных турбокомпрессоров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных экспериментальных исследований показано, что удельный эффективный расход топлива двигателем с циклом Миллера меньше на 10–20 % в зависимости от нагрузки, температура отработавших газов ниже до 150 °С. Дальнейшее улучшение показателей возможно достичь регулируемыми фазами газораспределения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.А., Марков В.А., ред. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания. Москва, ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
2. Лукшо В.А. Комплексный метод повышения энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия и укороченными тактами впуска и выпуска. Дисс... докт. техн. наук: 05.04.02. – М., 2015. – 369 с.
3. Moro D., Ponti F., Serra G. «Thermodynamic Analysis of Variable Valve Timing Influence on SI Engine Efficiency», SAE Paper, № 2001-01-0667, 2001.
4. Бахмутов С.В., Козлов А.В., Лукшо В.А., Теренченко А.С. Проблемные вопросы создания высокофорсированных газовых и газодизельных двигателей. Москва, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», Механика машин, механизмов и материалов. 2018. № 4 – 13–23 с.

Представлено 15.05.2020