

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ

Выполнен расчетный анализ экономической целесообразности создания двигателей с искровым зажиганием с изменяемой степенью сжатия.

Ключевые слова: Двигатель с искровым зажиганием, изменяемая степень сжатия, индикаторный КПД, коэффициент наполнения, коэффициент избытка воздуха.

A.V. Kapustin - Docent of Novgorod SU, E.I. Nikitin – engineer of Novgorod SU,
B.A. Zhorobekov – professor of OshTU, V.S. Zhakypdzhanova – senior teacher

ECONOMIC EFFICIENCY OF THE CYCLE OF A PISTON ENGINE OF INTERNAL COMBUSTION WITH A CHANGED DEGREE OF COMPRESSION

A computational analysis of the economic feasibility of creating engines with spark ignition with a variable compression ratio is performed.

Key words: The engine with spark ignition, variable compression ratio, indicator efficiency, volumetric efficiency, excess air factor.

Двигатели с искровым зажиганием (ДсИЗ) заметно уступают по экономичности дизельным двигателям. Это объясняется особенностями рабочих процессов. В дизелях управление мощностью осуществляют за счет коэффициента избытка воздуха путем изменения цикловой дозы топлива. При этом коэффициент наполнения (цикловое количество воздуха) почти не зависит от нагрузочного режима. Поэтому условия горения, характеризующиеся давлением, температурой, интенсивностью газодинамики (турбулентность или направленный вихрь) сохраняются практически постоянными на различных нагрузочных режимах. В таких процессах при уменьшении нагрузки индикаторный КПД цикла увеличивается.

В современных ДсИЗ применяется более сложное количественно-качественное управление мощностью как за счет изменения коэффициента избытка воздуха, так и за счет изменения коэффициента наполнения. Но пока определяющим является количественное управление, т.е. изменение мощности за счет изменения наполнения цилиндров двигателя путем дросселирования. В этом случае при уменьшении нагрузки (при прикрытии дроссельной заслонки) в цилиндрах двигателя снижаются давление и интенсивность турбулизации газа, увеличивается доля остаточных газов с трехатомными газами, что приводит к ухудшению условий горения. В результате увеличивается длительность сгорания и нестабильность циклов. Для сохранения длительности горения при дросселировании вынужденно приходится повышать интенсивность горения за счет создания более активной богатой смеси. В результате индикаторный КПД такого двигателя в отличие от дизеля заметно снижается при уменьшении нагрузки.

Сохранить неизменным индикаторный КПД можно путем постепенного увеличения степени сжатия по мере уменьшения нагрузки. При этом увеличивать степень сжатия можно без угрозы возникновения детонации вследствие снижения давления в цилиндре при уменьшении наполнения. Поэтому создание ДсИЗ с изменяемой степенью сжатия представляет интерес и работы в этом направлении в мире ведутся [1, 2].

При разработке двигателей с изменяемой (управляемой) степенью сжатия возникает вопрос, как сильно нужно менять степень сжатия по мере уменьшения наполнения без снижения индикаторного КПД двигателя. Для ответа на этот вопрос в данной работе был выполнен расчетный анализ возможного улучшения экономичности двигателя с искровым зажиганием с изменяемой степенью сжатия по сравнению с традиционными двигателями.

Расчеты выполнялись по математической модели цикла, приближенной к действительному циклу поршневого ДсИЗ. Модель учитывает состав рабочего тела, одностадийное или двухстадийное горение, длительность горения, характеристику (характеристики обеих стадий при двухстадийном горении) активного тепловыделения и др. Особенности методики расчета цикла по этой модели изложены в [3]. В данной работе все расчеты выполнялись для одностадийного процесса сгорания с длительностью и параметрами процесса сгорания, характерными для современных ДсИЗ.

Вначале был выполнен расчетный анализ зависимости индикаторного КПД (η_i) от степени сжатия (ϵ) при разных коэффициентах наполнения (η_v). В этих расчетах допускалось, что по мере уменьшения наполнения длительность сгорания и состав смеси сохраняются неизменными, коэффициент остаточных газов и температура смеси в конце впуска увеличиваются, а давление в конце впуска уменьшается. Оценено чисто термодинамическое (изменение состава рабочего тела, его теплоемкости и показателя адиабаты) влияние коэффициента наполнения на индикаторный КПД цикла. Расчеты показали, что при уменьшении наполнения от $\eta_v=0,9$ до $\eta_v=0,3$ индикаторный КПД уменьшается в

пределах 0,002 или примерно на 0,5%. Таким образом, влияние η_v на η_i незначительно и в последующих расчетах это влияние не учитывалось.

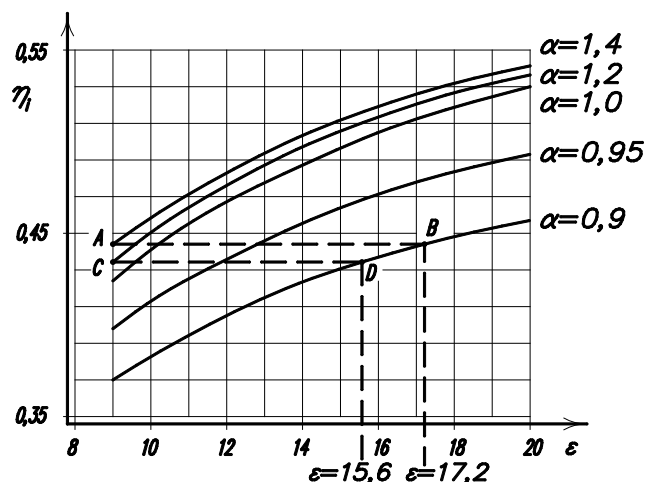


Рис. 1. Зависимость индикаторного КПД (η_i) от степени сжатия (ϵ) при различных коэффициентах избытка воздуха (α)

По результатам расчетов на рисунке представлены графические зависимости индикаторного КПД от степени сжатия при различных коэффициентах избытка воздуха (α).

Как выше отмечалось, в реальных процессах ДСИЗ снижение индикаторного КПД при уменьшении наполнения связано преимущественно с увеличением длительности сгорания и, особенно, с необходимостью обогащения смеси из-за ухудшения физических условий сгорания смеси (снижение давления, температуры, интенсивности турбулентности или вихревого движения заряда). Повышение же степени сжатия по мере снижения наполняемости цилиндра будет улучшать физические условия и тем самым способствовать более быстрому сгоранию. При этом экономичный состав смеси при дросселировании и сохранении неизменной длительности сгорания все же будет смещаться в сторону обогащения. В ДСИЗ с равномерно распределенной (однородной) горючей смесью по всему объему камеры сгорания при степени сжатия 9 и достаточно хорошо отработанных рабочих процессах экономичный состав смеси ($\alpha_{эк}$) имеет значения коэффициента избытка воздуха порядка $\alpha_{эк}=1,2$. При уменьшении наполнения до $\eta_v=0,3$ экономичный состав смеси может обогатиться до значения $\alpha_{эк}=0,9$. Чтобы при таком изменении $\alpha_{эк}$ сохранить неизменным индикаторный КПД нужно увеличивать степень сжатия на 6,6 ед.: от $\epsilon=9$ до $\epsilon=15,6$ (линия CD на рисунке).

Современные автомобильные ДСИЗ имеют более бедные экономичные составы смеси за счет послойного смескообразования (двигатели с расслоенным зарядом), т.е. смеси, неоднородной по объему камеры сгорания: богатой в зоне свечи и обедненной в отдаленных от свечи зонах. В таких двигателях экономичный состав смеси может иметь значения порядка $\alpha_{эк}=1,4$ на экономичном нагрузочном режиме. Если в этом случае экономичный состав при глубоком дросселировании будет смещаться до значения $\alpha_{эк}=0,9$, то для сохранения индикаторного КПД неизменным потребуется увеличивать степень сжатия на 8,2 ед.: от $\epsilon=9$ до $\epsilon=17,2$ (линия AB на рисунке). Но если в двигателе с послойным смескообразованием экономичный состав смеси при дросселировании будет смещаться до $\alpha_{эк}=0,95$, то для сохранения той же экономичности требуется увеличить степень сжатия всего примерно на 4 единицы: с $\epsilon=9$ до $\epsilon \approx 13$.

Таким образом, в двигателях с изменяемой степенью сжатия можно достичь показателей экономичности на частичных нагрузках таких же, как и на нагрузках, близких к нагрузкам наибольшей экономичности. При этом потребуется увеличивать степень сжатия при прикрытии дроссельной заслонки на величину (в зависимости от особенностей рабочего процесса) от 4 до 8 единиц. Экономичность автомобилей с такими двигателями при эксплуатации их в условиях работы по городскому циклу будет близка к экономичности автомобилей с дизельными двигателями.

Литература:

1. Джафар, А. Пат. 6039011 США МПК US F02B75/00. Двигатель внутреннего сгорания с встречно-движущимися поршнями [Текст] /Джафар Агаларов, Найтен Насибова, Барат Нуриев // Оpubл. 21.03.2000.
2. Капустин, А.В. Математическая модель цикла двигателя с двухстадийным сгоранием. Ученые записки Института сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ. – Т. 12, вып. 1. [Текст] /Сост. Э.А. Юрова. – Великий Новгород: Изд-во НРЦРО, 2004. – С. 87–90.
3. Хисаминато, Н. Пат. 2434157 Япония МПК JP F02B75/00. Двигатель внутреннего сгорания с искровым зажиганием [Текст] /Акихиса Дайсукэ, Камияма Эйити, Накасака Юкихиро// – Оpubл. 20.11.2011.