

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ И СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОРШНЕВЫХ ДВС

М.Д. Гарипов, Р.Ю. Саккулин

Приведены результаты расчетного исследования влияния степени сжатия и коэффициента избытка воздуха на эффективные показатели двух- и четырехтактного поршневых ДВС.

Исторически сложились два основных направления в организации сгорания горючего в двигателе. Это воспламенение гомогенной смеси искрой и воспламенение топлива от сжатия. Граница размежевания этих двух видов проходит по степени сжатия: верхняя – со стороны бензиновых ≈ 10 , нижняя – со стороны дизелей ≈ 15 . Двигатели с искровым воспламенением имеют к моменту воспламенения уже подготовленную гомогенную смесь. Это условие налагает ограничение по максимальной степени сжатия, поскольку в гомогенных смесях при повышенных степенях сжатия возникает детонация. Стремление к снижению расходов топлива при частичных нагрузках за счет использования обедненных топливовоздушных смесей приводит к необходимости решения вопросов обеспечения их надежного воспламенения и распространения пламени.

Дизельные двигатели не имеют этих проблем. Однако, высокие значения степени сжатия, присущие современным дизелям, имеют негативные стороны. Повышенные величины максимального давления и жесткости сгорания цикла требуют более прочной конструкции двигателя и определяют увеличенные нагрузки на детали цилиндропоршневой группы, что приводит к повышенным механическим потерям и увеличению массы двигателя. Поэтому снижение степени сжатия в дизелях дало бы определенные преимущества. Однако это требует решения вопросов, связанных со смесеобразованием и воспламенением.

На кафедре ДВС Уфимского государственного авиационного технического университета получены предварительные экспериментальные результаты, указывающие на возможность осуществления многотопливного бездетонационного рабочего процесса в широком диапазоне степеней сжатия (7 - 15) [1]. При этом имеется возможность реализации качественного регулирования нагрузки. Эксперименты проводились на дизельном топливе, бензине и этаноле (95 %). Процесс реализован за счет

искрового воспламенения впрыскиваемой вблизи верхней мертвой точки богатой топливовоздушной струи. В результате повышения давления и температуры, обусловленного сгоранием части топливовоздушной смеси, подожженной искрой, в несгоревшей части происходит (в случае применения низкооктановых топлив) многоочаговое воспламенение и сгорание, характерное для рабочего процесса дизельного двигателя. Такой процесс подвода тепла легко поддается управлению за счет изменения угла опережения впрыска и момента подачи искры.

Эти результаты позволяют ставить вопрос о реализации оптимального с точки зрения эффективного КПД цикла. Поэтому целью данного исследования является расчетное определение влияния степени сжатия и способа регулирования нагрузки на эффективные показатели поршневых ДВС.

Расчеты осуществлялись в системе имитационного моделирования ДВС «Альбея», разработанной на кафедре ДВС Уфимского государственного авиационного технического университета. Система моделирования позволяет определить индикаторные и эффективные показатели двигателя в любой момент времени [2, 4, 5]. В качестве объекта исследования были выбраны: двухтактный двигатель ТМЗ–200М и четырехтактный двигатель УЗАМ – 1700.

Теоретическое исследование проводилось при оптимальных с точки зрения эффективного КПД углах опережения зажигания и неизменной условной продолжительности сгорания, которая составляла 50 град. угла п.к.в.

Для подтверждения адекватности используемой системы имитационного моделирования был проведен расчет внешних скоростных характеристик обоих двигателей, которые были сопоставлены с экспериментальными. Результаты представлены на рис. 1, 2.

На рис. 3 представлены расчетные зависимости эффективного КПД от степени сжатия при различных нагрузках, полученные при

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ И СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОРШНЕВЫХ ДВС

частоте вращения коленчатого вала, равной $n = 3000$ об/мин.

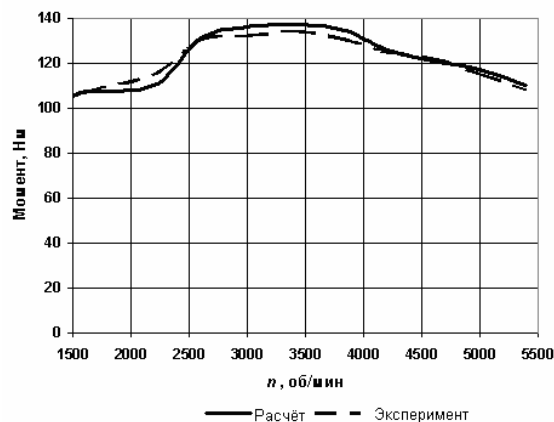


Рис. 1. Сопоставление расчётной и экспериментальной внешних скоростных характеристик двигателя УЗАМ 1700

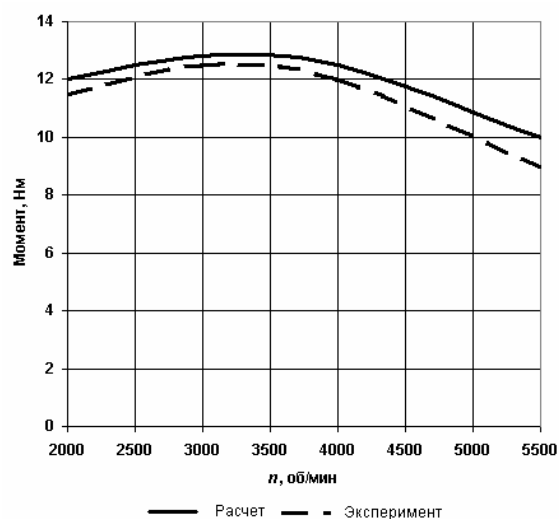


Рис. 2. Сопоставление расчётной и экспериментальной внешних скоростных характеристик двигателя ТМЗ-200М

Видно, что повышение степени сжатия выше определенного значения приводит к падению эффективного КПД двигателя. Это объясняется увеличением механических потерь (рис. 4), поскольку с повышением степени сжатия растет давление газов в цилиндре двигателя (рис. 5). При снижении нагрузки относительная доля механических потерь возрастает, соответственно снижается значение степени сжатия, соответствующее максимальному эффективному КПД.

С повышением степени сжатия оптимальные углы опережения зажигания сокращаются. При этом все большая часть продолжительности сгорания приходится на ли-

нию расширения. Этому и обязано снижение температуры с повышением степени сжатия при соблюдении оптимальных углов опережения зажигания. Как следствие, с повышением степени сжатия (при неизменной продолжительности сгорания) индикаторный КПД растет гораздо медленнее термического, ввиду большего отклонения от изохорного подвода теплоты.

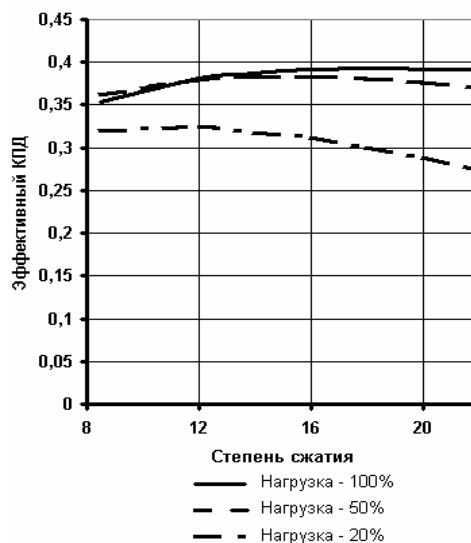


Рис. 3. Зависимость эффективного КПД от степени сжатия при различных нагрузках

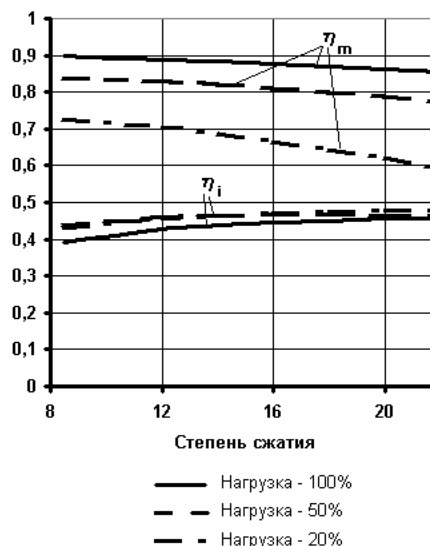


Рис. 4. Зависимость механического (η_m) и индикаторного (η_i) КПД от степени сжатия при различных нагрузках

На рис. 6 представлена кривая изменения эффективного КПД, отнесенного к изме-

нению степени сжатия, рассчитанная для случая полной нагрузки. Видно, что, начиная со значения степени сжатия, равного приблизительно 14, прирост КПД на каждую единицу роста степени сжатия составляет менее 1 %.



Рис. 5. Зависимости максимального давления и максимальной температуры цикла от степени сжатия

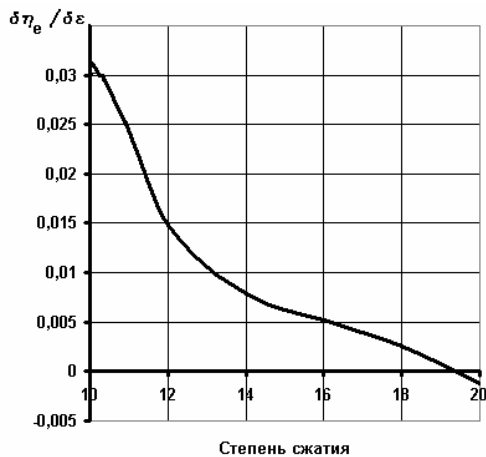


Рис. 6. Зависимость отношения изменения эффективного КПД к изменению степени сжатия от степени сжатия при полной нагрузке

Расчет механических потерь велся для существующей конструкции двигателя. При увеличении степени сжатия нагрузка на элементы двигателя значительно возрастает (рис. 5), что в реальной обстановке потребует принятия комплекса мер по усилению его конструкции (а следовательно увеличению массы), увеличению числа поршневых колец и т.д. Это приведет к тому, что увеличение механических потерь с ростом степени сжатия будет более интенсивным, чем в расчете.

Поэтому повышение степени сжатия больше значения 12 – 14, видимо, не будет вызывать увеличения эффективного КПД двигателя на полных нагрузках, а на частичных приведет к более существенному его снижению. Это подтверждается результатами, полученными в работе [6], где исследовался дизель со специальной системой зажигания с рядом последовательных искр. Было отмечено, что при снижении степени сжатия до значения, равного 12, топливная экономичность дизеля возрастала. Эта же степень сжатия называется в качестве оптимальной и в работе [3].

Рост оптимальной степени сжатия при снижении нагрузки в двигателях с количественным регулированием объясняется соответствующим (росту степени сжатия) расширением предела эффективного обеднения.

На рис. 7 представлены зависимости показателей двигателя УЗАМ 1700 от коэффициента избытка воздуха, полученные на режиме близком к холостому ходу (обороты двигателя $n = 1000$ об/мин и цикловая доза топлива постоянны). На рис. 8 представлены эти же зависимости для двухтактного двигателя ТМЗ-200М (обороты двигателя $n = 2000$ об/мин и цикловая доза топлива постоянны).

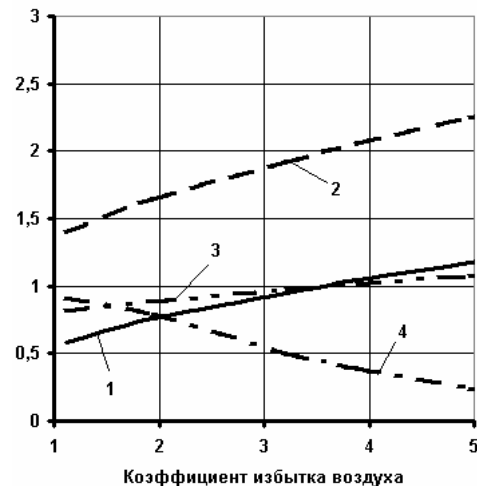


Рис. 7. Распределение мощностей при работе двигателя на режиме близком к холостому ходу: 1 – эффективная мощность; 2 – индикаторная мощность; 3 – мощность механических потерь; 4 – мощность насосных потерь двигателя

Рост эффективной мощности четырехтактного двигателя с увеличением коэффициента избытка воздуха объясняется ростом индикаторного КПД, а соответственно и индикаторной мощности, и снижением насосных потерь. В расчетах мощность насосных потерь включена в индикаторную мощность. Поэтому кривая 2 есть результат суммирования

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ И СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОРШНЕВЫХ ДВС

ния их влияний. Мощность механических потерь состоит только из потерь на трение.

Увеличение индикаторного КПД является следствием относительного уменьшения с ростом коэффициента избытка воздуха количества продуктов сгорания, содержащих в основном трехатомные компоненты, которые обладают более высокой теплоемкостью.

В случае двухтактного двигателя с кривошипно-камерной продувкой рост индикаторной мощности с увеличением коэффициента избытка воздуха практически компенсируется соответствующим ростом насосных потерь, что наряду с увеличением мощности механических потерь приводит к тому, что эффективная мощность практически не изменяется (рис. 8). Следовательно, незначительно будет меняться и расход топлива.

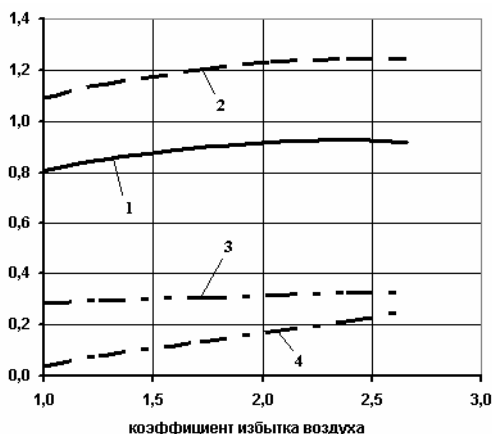


Рис. 8. Распределение мощностей при работе двигателя на режиме близком к холостому ходу: 1 – эффективная мощность; 2 – индикаторная мощность; 3 – мощность механических потерь; 4 – мощность насосных потерь двигателя

Дросселирование на впуске вызывает рост количества отработавших газов. Разбавление смеси отработавшими газами может создать в цилиндре двигателя такие условия, когда воспламенение смеси или вообще прекращается, или сгорание развивается вяло. Отсюда вытекает необходимость обогащения смеси по мере дросселирования, поскольку максимумы скоростей воспламенения и распространения пламени лежат в области богатых смесей. Это приводит к выбросу в атмосферу продуктов неполного сгора-

ния и перерасходу топлива. С учетом вышеизложенного, в реальных условиях двухтактного ДВС, при переходе с количественного регулирования нагрузки на качественное, выигрыш в топливной экономичности, видимо, будет более значительным.

Таким образом, в результате численных экспериментов установлено:

1. Повышение степени сжатия выше определенного предела вызывает снижение эффективного КПД двигателя. Снижение нагрузки в двигателях с качественным регулированием приводит к снижению этого предела.

2. Наблюдаемый рост оптимальной степени сжатия при снижении нагрузки в двигателях с количественным регулированием объясняется соответствующим (росту степени сжатия) расширением предела эффективного обеднения.

3. Увеличение значения коэффициента избытка воздуха с 1 до 5 в четырехтактном ДВС на режиме работы, близком к холостому ходу, может привести к снижению расхода топлива приблизительно в два раза.

4. В двухтактном ДВС влияние способа регулирования нагрузки существенно ниже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарипов М.Д., Рудой Б.П. Перспективы развития поршневых ДВС //Инновационные проблемы развития машиностроения в Башкортостане: Сб. науч. трудов. Уфа: Гилем, 2003.- С. 33 - 48.
2. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания в интерактивной системе имитационного моделирования «Альбея» / И.С. Губайдуллин, С.А. Загайко, Н.В. Рудая и др. // Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т. - Уфа, 1997. – 43 с.
3. Дизельные двигатели KHD, работающие на метаноле// Конструкции автомобилей. – 1984. – №9.
4. Загайко С.А. Моделирование механических потерь ДВС в системе имитационного моделирования «Альбея» // Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т. - Уфа, 1996. – 74 с.
5. Система имитационного моделирования «Альбея» (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста: Учебное пособие / В.Г. Горбачев, С.А. Загайко, Н.В. Рудая, и др. Уфимск. госуд. авиац. техн. ун-т. - Уфа, 1995. – 112 с.
6. Phatak R.G., Komiyama K. Investigation of a spark – assisted diesel engine // SAE Techn. Pap. Ser. –1983. – №830588. – P. 8.