

М. Д. Гарипов, Г. Р. Назмутдинова, Р. Ю. Сакулин

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Приведены результаты расчетного исследования влияния степени сжатия на эффективные показатели четырехтактного дизельного двигателя. Определено значение наиболее приемлемой для исследуемого двигателя степени сжатия. *Степень сжатия; поршневой ДВС; эффективный КПД; коэффициент избытка воздуха*

ВВЕДЕНИЕ

Исторически сложились два основных направления в организации рабочего процесса поршневых двигателей. Это воспламенение предварительно подготовленной смеси искрой и воспламенение впрыскиваемого топлива от сжатия. Граница размежевания этих двух видов проходит по степени сжатия: верхняя со стороны бензиновых ≈ 10 , нижняя со стороны дизелей ≈ 15 .

Ограничение по максимальной степени сжатия в двигателях с искровым воспламенением обусловлено тем, что к моменту воспламенения в цилиндре такого двигателя находится уже подготовленная гомогенная смесь, в которой при повышенных степенях сжатия возникает детонация.

Дизельные двигатели, наоборот, для обеспечения самовоспламенения топлива требуют высоких степеней сжатия, что имеет свои 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.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На кафедре ДВС Уфимского государственного авиационного технического университета получены предварительные экспериментальные результаты, указывающие на возможность осу-

ществления многотопливного бездетонационного рабочего процесса в широком диапазоне степеней сжатия (7–15) [1]. При этом имеется возможность реализации качественного регулирования нагрузки. 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 управляется за счет изменения угла опережения впрыска и момента подачи искры.

Поскольку в данном рабочем процессе устроятся ограничения по степени сжатия, возникает возможность выбора наиболее приемлемого ее значения для транспортного двигателя.

В качестве объекта исследования был выбран четырехтактный дизельный двигатель Д 65-Н, поскольку на базе этого двигателя планируется проводить часть экспериментальных исследований предлагаемого рабочего процесса.

Целью работы является расчетное определение влияния степени сжатия на эффективные показатели исследуемого дизельного ДВС.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Степень сжатия исследуемого двигателя в серийном исполнении составляет 17,3.

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 [3, 5, 6].

Для подтверждения адекватности модели были проведены расчеты параметров цикла и эффективных показателей исследуемого двигателя, которые были сопоставлены с данными индицирования и паспортными характеристиками. Условная продолжительность сгорания была определена из экспериментальных данных и составила 89 градусов угла п.к.в. Наилучшее совпадение расчетных и экспериментальных кривых давления и скорости нарастания давления в цилиндре было получено при значении показателя характера горения $m = -0,12$.

Результаты сопоставления представлены на рис. 1 и в табл. 1.

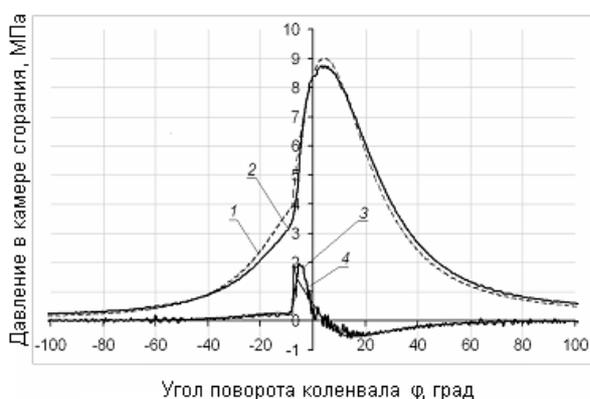


Рис. 1. Сопоставление расчетной и экспериментальной кривых давления и скорости нарастания давления ($dP/d\phi$) в цилиндре двигателя Д-65Н: 1 — давление в цилиндре, расчет; 2 — давление в цилиндре, эксперимент; 3 — скорость нарастания давления ($dP/d\phi$), расчет; 4 — скорость нарастания давления ($dP/d\phi$), эксперимент

Таблица 1

Сравнение расчетных и паспортных эффективных показателей двигателя Д 65-Н

Данные двигателя	N_e , кВт	g_e , г/кВт·ч
Паспортные	44,13	0,251
Расчетные	48,83	0,246

Расхождение в расчетных и паспортных данных, приведенных в табл. 1 объясняется тем, что расчетная модель не учитывает потери, обусловленные наличием на реальном двигателе вспомогательных систем и навесных агрегатов (газораспределительный механизм, насос охлаждающей жидкости, вентилятор системы охлаждения и т. д.). Из работы [7] следует, что на привод одних только вентилятора и насоса

охлаждающей жидкости затрачивается до 5–10 % эффективной мощности двигателя, что примерно соответствует расхождению между расчетными и паспортными данными в табл. 1. Поскольку данные потери не зависят от степени сжатия, то в условиях этой работы ими возможно пренебречь.

При расчетах зависимостей параметров исследуемого двигателя от степени сжатия угол начала теплоподвода выбирался из условия получения максимального эффективного КПД.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 2 представлены расчетные зависимости эффективного КПД от степени сжатия при различных коэффициентах избытка воздуха, полученные при частоте вращения коленчатого вала, равной 1200 об/мин.

Понижение степени сжатия исследуемого двигателя с 17,3 до 15 не вызывает понижения эффективного КПД цикла на полной нагрузке ($\alpha = 1,4$), а на частичных нагрузках даже отмечается его рост (на 1,2%, 2,1% и 3% для $\alpha = 2$, $\alpha = 3$ и $\alpha = 3,5$ соответственно).

В случае понижения степени сжатия с 17,3 до значения 12,5 при $\alpha = 1,4$ наблюдается снижение эффективного КПД лишь на 1,2 %. На частичных нагрузках эффективный КПД, как и при $\epsilon = 15$, возрастает (на 0,9 %, 2,7 % и 4,5 % для $\alpha = 2$, $\alpha = 3$ и $\alpha = 3,5$ соответственно).

Падение эффективного КПД двигателя с повышением степени сжатия выше определенного значения обуславливается двумя основными причинами. Во-первых, увеличением механических потерь (рис. 3), поскольку с повышением степени сжатия растет давление газов в цилиндре двигателя (рис. 4). При увеличении коэффициента избытка воздуха относительная доля механических потерь возрастает, соответственно снижается значение степени сжатия, соответствующее максимальному эффективному КПД.

Во-вторых, повышение степени сжатия при неизменной продолжительности сгорания влечет большее отклонение от изохорного подвода теплоты. Это легко понять, если ввести условную величину:

$$\epsilon_\phi = \frac{V_h + V_c}{V_\phi},$$

где $V_\phi = \Delta V_h + V_c$, ΔV_h — часть рабочего объема двигателя, на которую распространяется процесс теплоподвода. При изохорном подводе теплоты ($\Delta V_h = 0$) это выражение переходит в из-

вестное выражение для степени сжатия (расширения):

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

Отношение этих величин характеризует отклонение от изохорности подвода теплоты в зависимости от объема камеры сгорания:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_\phi} = \frac{\Delta V_h}{V_c} + 1$$

Видно, что с уменьшением объема камеры сгорания, а следовательно, с увеличением степени сжатия, отклонение от изохорности при постоянной продолжительности теплоподвода увеличивается. Как следствие, с повышением степени сжатия (при неизменной продолжительности сгорания) индикаторный КПД будет расти гораздо медленнее термического и, при определенных условиях, даже снижаться (рис. 3). По этой же причине практически не увеличиваются максимальные значения температуры цикла (рис. 4).

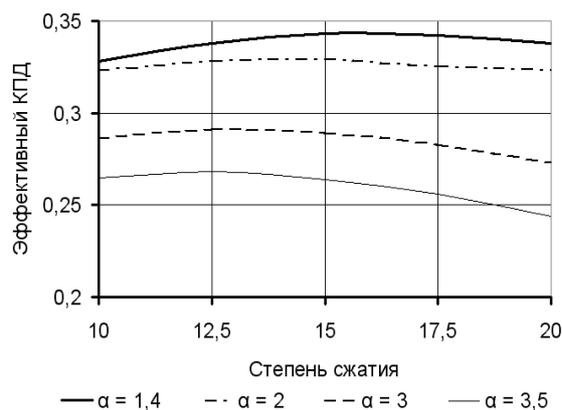


Рис. 2. Зависимость эффективного КПД от степени сжатия при различных коэффициентах избытка воздуха ($n = 1200$ об/мин)

Таким образом, в условиях исследуемого дизеля варьирование степени сжатия в диапазоне от 12,5 до 20 практически не влияет на эффективный КПД двигателя на полной нагрузке. На частичных нагрузках происходит повышение КПД двигателя при переходе в диапазон $\approx 12,5 - 15$.

Если учесть, что транспортный двигатель эксплуатируется на частичных режимах (меньше половины максимальной мощности) до 50–70 % общего времени, а на режимах холостого хода до 40 % [8], то можно констатиро-

вать, что снижение степени сжатия до значений 12,5–15 не повлечет ухудшения экономичности. При этом уровень нагрузок на элементы двигателя (рис. 4) значительно уменьшится (до 30 %).

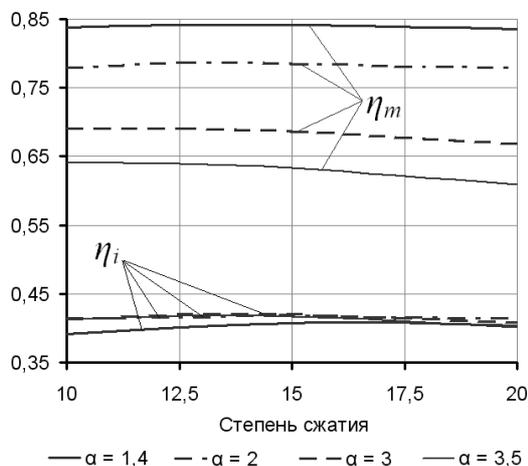


Рис. 3. Зависимость механического (η_m) и индикаторного (η_i) КПД от степени сжатия при различных коэффициентах избытка воздуха

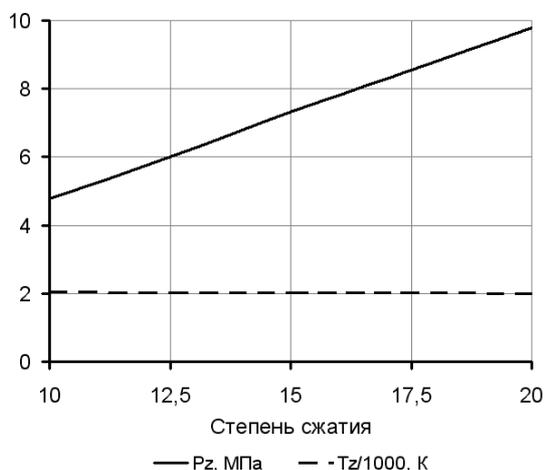


Рис. 4. Зависимости максимального давления и максимальной температуры цикла от степени сжатия

Данный вывод подтверждается результатами, полученными в работе [9], где исследовался дизель со специальной системой зажигания с рядом последовательных искр. Было отмечено, что при снижении степени сжатия до 12, топливная экономичность дизеля возрастала.

ВЫВОДЫ

При реализации перспективного многотопливного рабочего процесса на базе дизельного двигателя Д 65 рекомендуется снизить степень сжатия до значений 12,5–15, поскольку это уменьшит нагрузки, действующие на конструкцию двигателя без ухудшения экономичности, что, в свою очередь позволит либо снизить массу и габариты, либо увеличить запас прочности и ресурс двигателя. Кроме того, понижение степени сжатия снизит вероятность самовоспламенения топливо-воздушной смеси раньше момента искрового воспламенения при использовании низкооктановых топлив.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисов А. О.** Рабочий процесс многотопливного поршневого двигателя / под ред. Р. Д. Еникеева. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 272 с.
2. **Воинов А. Н.** Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. М.: Машиностроение, 1977. 277 с.
3. **Губайдуллин И. С.** Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания в интерактивной системе имитационного моделирования «Альбея». Уфа: УГАТУ, 1997. 43 с.
4. **Загайко С. А.** Моделирование механических потерь ДВС в системе имитационного моделирования «Альбея». Уфа, 1996. 74 с.

5. **Горбачев В. Г.** Система имитационного моделирования «Альбея» (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста: Учеб. пособие. УГАТУ. Уфа, 1995. 112 с.

6. **Мацкерле Ю.** Современный экономичный автомобиль / под ред. А. Р. Бенедиктова. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.

7. **Хуциев А. И.** Двигатели внутреннего сгорания с регулируемым процессом сжатия. М.: Машиностроение, 1986. 104 с.

8. **Phatak R. G., Komiyama K.** Investigation of a spark – assisted diesel engine // SAE Techn. Pap. Ser. 1983. № 830588. P. 8.

ОБ АВТОРАХ

Гарипов Марат Данилович, доцент каф. двигателей внутр. сгорания. Дипл. магистр (УГАТУ, 1999). Канд. техн. наук по тепл. двигателям (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. перспект. раб. проц. ПДВС.

Назмутдинова Гульнара Рамилевна, магистрант той же каф. Дипл. бакалавр (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. моделирования раб. проц. ПДВС.

Сакулин Роман Юрьевич, доц. той же каф., доц. каф. прикл. гидромеханики. Дипл. магистр (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по тепл. двигателям (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. экологичности ПДВС.