

**Д. М. Пинский, В. А. Рожанский**

## **О ВЕЛИЧИНЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ДИЗЕЛЯ**

Создание долговечных, надежных, экономичных дизелей связано с более рациональной организацией рабочего процесса и в первую очередь процесса сгорания.

Одним из важнейших параметров, от которого в значительной мере зависят мощностные и экономические показатели двигателя, является величина степени сжатия. В дизелях приходится ограничивать степень сжатия до такой величины, чтобы максимальное давление цикла не превышало допустимых пределов и в то же время обеспечивался их надежный запуск. Это не позволяет получать в двигателях с воспламенением от сжатия высоких мощностных и экономических показателей.

В последнее время появились работы, посвященные исследованию процесса сгорания в двигателях при изменяющейся в зависимости от нагрузки степени сжатия. Применение в дизелях переменной степени сжатия открывает новые возможности существенного улучшения их показателей, создает благоприятные условия для применения различных топлив, высокого наддува, сохранения постоянными параметров двигателей в горных условиях, улучшения пусковых свойств. Поэтому целесообразно рассмотреть вопросы влияния величины степени сжатия на пуск, показатели двигателя при наддуве, при использовании различных топлив и при работе в горных условиях.

В процессе пуска дизеля, когда число оборотов не превышает 150—200 в минуту, создаются неблагоприятные условия для воспламенения топлива. При медленном вращении коленчатого вала увеличивается теплообмен между зарядом в цилиндре двигателя и стенками, что уменьшает значение показателя политропы сжатия. Все это приводит к уменьшению давления и температуры в конце такта сжатия, значение которых находится в степенной зависимости от показателя политропы сжатия.

Низкое давление и температура в цилиндре двигателя в момент впрыска способствуют тому, что топливо слабо испаряется и

в значительной мере достигает холодных стенок камеры сгорания. Ухудшение смесеобразования и низкая температура стенок камеры сгорания затрудняет воспламенение топлива и запуск двигателя. Особенно ухудшается запуск двигателя в холодное время года. Для обеспечения надежного пуска двигателя при низких температурах необходимо создать в камере сгорания давление и температуру, достаточные для своевременного воспламенения и сгорания топлива.

Опыты, проведенные рядом исследователей, свидетельствуют о большом влиянии степени сжатия на пусковые характеристики двигателя. Более высокая степень сжатия повышает давление и температуру конца сжатия на всех пусковых режимах. В результате сокращаются минимальное число пусковых оборотов и время пуска, что улучшает эксплуатационные свойства двигателя. На рис. 1 показано влияние степени сжатия на минимальные пусковые обороты двигателя [1].

Такой метод улучшения пусковых свойств дизеля получил известное распространение. Еще в 30-х гг. для облегчения пуска двигателей Листер—Рикардо, Геншель—Лянова, Дейче—Верке и других применяли увеличение степени сжатия с 15 до 19 путем отсоединения ручную дополнительных объемов [2].

Автоматическое изменение степени сжатия при работе двигателя достигается применением различных устройств (ПАРСС, ВКАРО и др.). По данным фирмы «Континенталь», с применением ПАРСС (поршня, автоматически регулирующего степень сжатия) двигатель «Континенталь AVDS-1100», имея степень сжатия, равную 21, запускался на дизельном топливе при минимальной температуре минус 31,7°С без применения вспомогательных средств, а при стандартной степени сжатия, равной 16, он запускался лишь при минимальной температуре минус 8,3°С. Аналогичные результаты получены при холодном пуске французской фирмой «Испано-Сюиза», разработавшей вихревую камеру, автоматически регулируемого объема — ВКАРО. Таким образом, эффективно улучшить пусковые свойства двигателей с воспламенением от сжатия можно, лишь увеличив степень сжатия. Одно из средств повышения литровой мощности дизеля — применение газотурбинного наддува, кото-

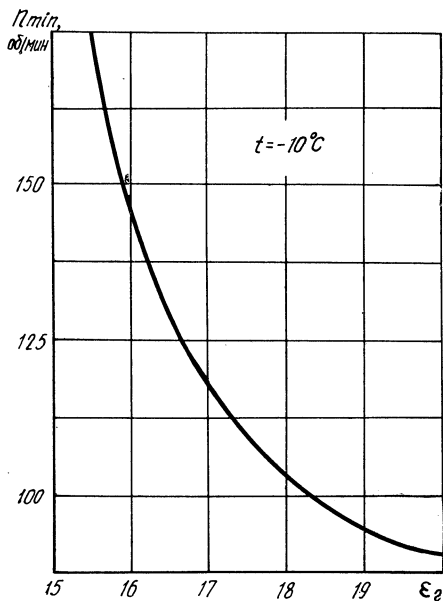


Рис. 1. Минимальные пусковые числа оборотов дизеля при различных степенях сжатия (двигатель Д-37М)

рый за последнее десятилетие стал широко внедряться в автотракторном двигателестроении. Двигатели с турбонаддувом обладают существенными преимуществами по весовым показателям, габаритным размерам и экономичности.

Основное препятствие, сдерживающее широкое применение повышенного и высокого наддува, — рост максимального давления сгорания. Даже применение нормального наддува приводит к увеличению максимального давления сгорания на 25—40%. При высоком наддуве максимальное давление сгорания достигает 150—200  $\text{кг/см}^2$ . При наддуве величина максимального давления сгорания существенно зависит от степени сжатия и может быть уменьшена путем снижения последней.

В работах Д. А. Портнова показано, что при согласовании давления наддува и степени сжатия можно повысить мощность двигателя, сохранив неизменным максимальное давление сгорания. Но уменьшение степени сжатия ухудшает экономичность и пусковые свойства двигателя. Применение устройств, автоматически изменяющих степень сжатия, позволяет ограничить максимальное давление сгорания без существенного ухудшения экономичности. На двигателе «Континенталь AVDS-1100» с высоким наддувом при применении ПАРСС было достигнуто среднее эффективное давление 28,15  $\text{кг/см}^2$ , что позволило увеличить мощность почти в три раза, причем максимальное давление сгорания не превысило 112  $\text{кг/см}^2$ . Степень сжатия при этом снизилась до 7,8. Получение того же среднего эффективного давления, когда степень сжатия, равная 14, при прочих равных условиях сопровождалось бы ростом максимального давления сгорания до 230  $\text{кг/см}^2$ .

Таким образом, регулирование величины степени сжатия позволит широко применять форсирование двигателей путем использования повышенного и высокого наддува.

Наряду с повышением литровой мощности не менее важной задачей является обеспечение двигателю свойств многотопливности. Современные многотопливные двигатели создаются на базе дизелей. Самовоспламеняемость легких топлив хуже, чем дизельных. Вследствие высокой испаряемости легких топлив и большой задержки воспламенения в цилиндре двигателя к моменту воспламенения образуется большое количество однородной смеси, быстрое сгорание которой носит взрывной характер, вызывая жесткую работу и резкое повышение давления в цилиндре.

Обеспечение двигателю свойств многотопливности возможно несколькими методами. Период задержки воспламенения топлива в основном зависит от температуры и давления в цилиндре двигателя к моменту впрыска топлива. При применении легких топлив в обычных дизелях эти параметры могут оказаться недостаточными для воспламенения топлива и устойчивой работы двигателя.

Чтобы обеспечить необходимую скорость протекания физико-химических процессов в топливе, перед воспламенением температура сжатого воздуха  $T_v$  в цилиндре двигателя должна превышать

температуру самовоспламенения  $T_{св}$  топлива на 150—200°C, т. е.  $T_{в} = T_{св} + (150 - 200^\circ\text{C})$ .

Один из способов повышения температуры и давления заряда в цилиндре двигателя — увеличение степени сжатия. Поэтому во многих двигателях, приспособленных для работы на различных топливах, степень сжатия увеличена на 4—6 единиц. Например, предкамерные многотопливные двигатели Даймлер—Бенц, по данным фирмы, могут работать на всех топливах, смазочных маслах и на бензинах с любым октановым числом, что было достигнуто путем повышения степени сжатия на 2—6 единиц, в то время как серийные двигатели при  $\epsilon = 16$  работали на этих топливах неудовлетворительно. Предкамерные двигатели фирмы «Интернейшнл Харвестер» хорошо работали как на полной, так и на частичной нагрузке при использовании автомобильных бензинов только при увеличении степени сжатия с 15 до 21. В этом случае удельный расход топлива был почти одинаковым с получаемым на дизельном топливе, а дымность несколько ниже.

Двигатели фирмы «Континенталь», действующие по М-процессу, наиболее приспособлены к многотопливной работе. Мягко и бездымно они работают на дизельном топливе и бензине с высоким октановым числом лишь при повышении степени сжатия с 14,5 до 21,3. Первоначальное повышение степени сжатия до 18,5 оказалось недостаточным.

Степень сжатия многотопливных модификаций двигателей фирмы MAN, работающих по М-процессу, достигает 23—24 единиц. Для возможности работы двигателя с воспламенением от сжатия при таких высоких степенях сжатия необходимо применять устройства, регулирующие степень сжатия, которые бы создавали необходимые температуры и давления для воспламенения различных топлив и в то же время препятствовали росту максимального давления сгорания.

Работа двигателя в горных условиях отличается рядом особенностей, которые обуславливают изменение его показателей. При увеличении высоты над уровнем моря уменьшается температура и давление атмосферного воздуха. В первую очередь это сказывается на величине весового наполнения цилиндров. Исследования, проведенные Г. Ш. Барбакадзе [3], показывают, что с изменением высоты от 0 до 4000 м над уровнем моря весовое наполнение двигателя Д-20 уменьшилось на 39%. В связи с этим давление и температура конца сжатия в цилиндре падают, что ведет к ухудшению процесса сгорания в двигателе. На рис. 2 [4] показано влияние плотности входящего воздуха на величины  $p_c$ ,  $T_c$  и  $n_1$  в двигателе ЯМЗ-236.

По данным работы [5], в двигателе Д-54 при увеличении высоты над уровнем моря от 0 до 4000 м давление конца сжатия снизилось с 36 до 21 кг/см<sup>2</sup>. Одновременно с этим наблюдаются нежелательные явления при подаче топлива в цилиндр двигателя: изменяются скорость истечения струи топлива из форсунки, точность распыливания и дальность, оптимальное значение угла опере-

жения впрыска. Указанные явления приводят к резкому увеличению периода задержки воспламенения. Например, в двигателе Д-54 [5] период задержки воспламенения возрастает по сравнению с величиной на уровне моря на высоте 1000 м на 16%, на высоте 2000 м — на 51%, на высоте 3000 м — на 90%. В результате этого увеличивается жесткость работы двигателя, процесс сгорания растягивается, протекает вяло, возрастает догорание и увеличиваются

тепловые потери, что приводит к падению мощности и росту расхода топлива.

Степень сжатия, оптимальная при работе двигателя в нормальных условиях, оказывается недостаточной для обеспечения надежной работы при увеличении высоты над уровнем моря. По данным работы [5], для соблюдения постоянства давления и температуры в конце сжатия в двигателе Д-54 на высоте 1000 м степень сжатия должна составить 19, а на высоте 4000 м — 23, при исходной  $\varepsilon = 16$ . По мнению Г. Ш. Барбакадзе [3], для соблюдения постоянства этих параметров с ростом высоты необходимо на каждые 1000 м увеличить степень сжатия примерно на 10%. В табл. 1 [3] приведены данные о влиянии величины степени сжатия на максимальное давление сгорания  $p_z$ , период задержки воспламенения  $\tau_i$  и жесткость  $dp/d\phi$  в двигателе Д-20 при работе на разной высоте.

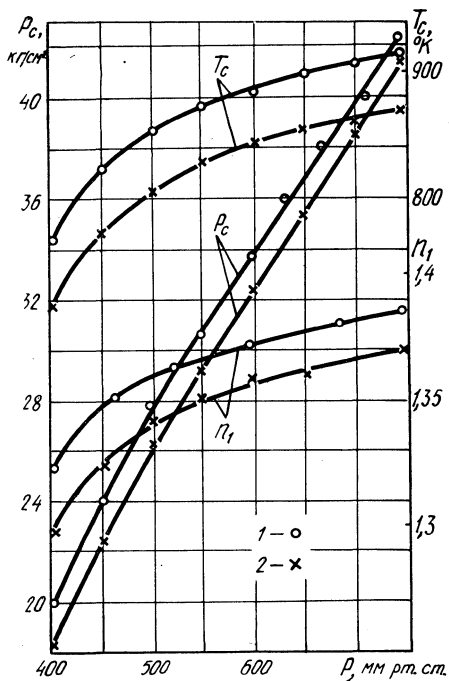


Рис. 2. Влияние плотности входящего в цилиндр дизеля воздуха на показатель политропы, давление и температуру конца сжатия: 1—2100 об/мин; 2—1500 об/мин

Однако применение высоких степеней сжатия для двигателей, работающих в изменяющихся горных условиях, связано с известными трудностями. Если радиус действия трактора невелик и ограничен несколькими десятками километров, то радиус действия автомобиля доходит до нескольких сотен километров. Поэтому тракторному двигателю, работающему на определенной высоте, можно было бы задать при изготовлении соответствующую степень сжатия. Для автомобильного двигателя этого сделать нельзя. В противном случае при эксплуатации автомобиля в нормальных условиях чрезмерно возрастает температура и давление в конце сгорания, что вызовет недопустимую нагрузку на детали кривошипно-шатунного механизма. Отсюда видно, как необходимо при непо-

**Влияние величины степени сжатия на показатели процесса сгорания  
в двигателе Д-20**

Степень сжатия	Высота 0			Высота 4000 м		
	$p_z$ , кг/см <sup>2</sup>	$\tau_i$ , сек <sup>10<sup>-3</sup></sup>	$dp/d\varphi$ , кг/см <sup>2</sup> ·град	$p_z$ , кг/см <sup>2</sup>	$\tau_i$ , сек <sup>10<sup>-3</sup></sup>	$dp/d\varphi$ , кг/см <sup>2</sup> ·град
13,5	63,3	1,26	6,9	47,6	1,91	10,1
14,6	68,5	1,07	6,5	54,9	1,60	9,1
15,4	72,3	1,01	6,3	56,1	1,22	8,7
16,9	82,0	0,88	6,2	64,0	1,22	7,9
17,9	86,4	0,81	6,0	65,2	1,09	7,4

стоянстве высотных условий иметь устройство, позволяющее изменять степень сжатия в двигателе в зависимости от высоты над уровнем моря с целью создания оптимальных условий для его нормальной работы.

Рассмотренные различные условия работы дизелей показывают, что для существенного улучшения их показателей двигателя должны иметь регулируемую по величине степень сжатия. Наличие переменной степени сжатия позволяет иметь двигатели, пригодные для работы в различных эксплуатационных условиях, обладающие свойством многотопливности, допускающие применение наддува без специального усиления деталей кривошипно-шатунного механизма.

Основное препятствие к использованию таких двигателей в настоящее время — недостаточная надежность и сложность конструкции устройств, автоматически регулирующих степень сжатия, а также почти полное отсутствие теоретических исследований рабочего процесса подобных двигателей, его закономерностей и условий, обеспечивающих получение наивысших мощностных и экономических показателей. Поэтому работы по теоретическому исследованию рабочего процесса двигателей с переменной степенью сжатия, созданию основных конструкций для таких двигателей и их экспериментальному исследованию актуальны и необходимы.

### Л и т е р а т у р а

[1] *Купершмидт В. Л., Эфрос В. В.* Влияние степени сжатия на пусковые характеристики дизеля с неразделенной камерой сгорания. — «Тракторы и сельхозмашины», 1968, № 1. [2] *Волчок Л. Я.* Системы пуска автотракторных дизелей. — «Дизелестроение», 1938, № 10. [3] *Барбакадзе Г. Ш.* Исследование целесообразности повышения степени сжатия дизеля в высокогорных условиях. Автореф. дис. Тбилиси, 1963. [4] *Пономарев О. П., Пьядичев Э. В.* Исследование работы дизеля ЯМЗ-236 в условиях пониженного барометрического давления. — «Автомобильная промышленность», 1964, № 8. [5] *Махалдиани В. В.* О двигателях для горных автомобилей и тракторов. Тбилиси, 1968.